

FRANCISCO MORA

Cómo  
funciona  
el cerebro

Alianza Editorial

Francisco Mora

# CÓMO FUNCIONA EL CEREBRO

Alianza Editorial

# Índice

*Prólogo a esta nueva edición*

*Nota a la presente edición*

*Prólogo a la segunda edición (2009)*

*Prólogo*

*1. A modo de introducción. ¿Cómo funciona el cerebro?*

Un bosque gris

De las autopistas a los caminos vecinales

La neurona creadora

El mundo que nos rodea

Las monedas universales del cerebro

¿Por qué yo no entiendo el chino?

Rocas, ardillas y fantasmas

De árboles, perros y gatos

De lo que se ve a lo que se siente

Predicción y anticipación

¿Es el cerebro un ordenador muy sofisticado?

Seis argumentos a favor de que el cerebro no es un computador

¿Acaso mi cerebro funciona sin el resto de mi cuerpo?

*2. ¿Está el cerebro orquestado musicalmente?*

El péndulo biológico

Un reloj en la cabeza

El cerebro es una caja con múltiples relojes

En las profundidades de una cueva en Kentucky

El dios alado del sueño

¿Pero... qué es propiamente el sueño?

El sueño del escorpión

Los cocodrilos duermen pero no sueñan

El regalo de Morfeo

¿Qué nos dicen los ensueños?

¿Cantan los pájaros mientras duermen?

El hombre sin sueño REM

Del arte a la ciencia o los ensueños creadores de Tartini, Loewi y Kekule

¿Por qué están siempre despiertos los delfines?

¿Sirve el sueño para enfriar el cerebro?  
Los ciclos de la temperatura del cuerpo  
Un niño entre los maizales de Iowa  
Del estado cataléptico de la serpiente a la hibernación de la ardilla  
De la hibernación de la ardilla al letargo invernal del oso  
El cerebro hibernante  
Los largos viajes espaciales: ¿catalepsia, letargo o hibernación?

*3. El mundo que vemos ¿existe realmente fuera del cerebro?*

Ventanas al mundo  
El libro de los códigos sensoriales  
Los átomos de la percepción  
Un perro negro sobre la nieve  
El cerebro pinta el mundo de color  
Naranjas grises y pájaros que no vuelan  
De cómo el cerebro construye el mundo que ve  
De cómo una naranja se transforma en todas las naranjas del mundo  
Neuronas, circuitos y abstracción  
De cómo la información visual viaja por el cerebro  
El tacto visual de Euclides  
De lo bueno y de lo malo

*4. El color emocional de las percepciones*

Placer y castigo  
Retomemos la historia de la naranja  
La rata que descubrió el placer puro  
Cerebro y placer  
Placer artificial  
¿Es diferente el placer de una buena comida de aquel que se obtiene en el acto sexual?  
El limbo de las emociones  
Haciendo resumen

*5. ¿Puede un ser humano crecido entre chimpancés tener una conducta humana?*

De la azada al violín  
La gramática universal  
¿Tuvo el lenguaje su origen hace dos millones de años?  
Memes y replicadores  
Broca, Wernicke y Geschwind  
Los pacientes de Wilder Penfield  
De los modelos a la dura realidad del cerebro vivo  
Los caminos cerebrales del lenguaje

¿Se nace sabiendo jugar al golf o pelar una patata?  
El hombrecito motor  
Yo te lo pido y tú me lo prestas  
Rectificando el movimiento

*6. Todo lo que significa aprender y memorizar cambia nuestro cerebro*

El racimo de las memorias  
Perdemos unas memorias y guardamos otras  
Henry M.  
El caballito de la memoria  
De cómo la memoria se hace permanente  
Pero ¿dónde se hacen permanentes las memorias?  
Los caminos secretos de la memoria  
¿Por qué no recordamos nada de nuestros dos primeros años de vida?  
La plasticidad del cerebro: James, Tanzi y Cajal  
Los postulados de Hebb  
De caracoles, ratas y pollos

*7. ¿Son la mente y la conciencia una propiedad más de circuitos específicos del cerebro?*

Las escaleras del cerebro, la mente y la conciencia  
Hablemos todos de todo  
¿Qué es la conciencia?  
¿Existen las microconciencias?  
La conciencia como globalidad funcional del cerebro  
El centro dinámico de la conciencia  
Las once propiedades de Edelman y Tononi sobre la conciencia  
El gran misterio o la construcción del yo en el cerebro

*8. Alumbrando creatividad*

¿Qué es creatividad?  
Impulsos, emociones y genios  
Luces y sombras  
Chimpancés y curiosidades  
Abstraer y crear  
Neuronas creativas  
Abstractos, concretos y frustraciones  
Del análisis a la intuición  
El eureka de Arquímedes  
Las cinco claves del eureka  
Neuronas e ideas luminosas  
Y más allá, innovando

*9. ¿Enferman las mariposas del alma? o cómo funciona un cerebro que mal funciona*

De la palabra a la molécula  
Los cinco principios de Kandel  
Algunas piezas cerebrales del «rompecabezas» mental  
Profundizando en el cerebro  
Desapariciones e invasores  
Añadamos los genes a la mente  
Scribonius Largus o un pez eléctrico en la cabeza  
¿Queda espacio en el cerebro para el psicoanálisis?  
Enfermedad mental y cerebro creativo  
Genio y locura. De Van Gogh a Nietzsche  
Enfermedad mental y diversidad humana

*10. ¿Cómo funciona el cerebro envejecido?*

Los cuatro criterios de Hayflick  
¿Por qué no envejece la trucha arco iris?  
El envejecimiento ¿se debe a los genes?  
A cerebro más grande, mayor longevidad  
La vejez de nuestros predecesores hace 2-3 millones de años  
Algo más sobre nuestro propio envejecimiento  
Nuevas perspectivas  
¿Envejece todo el cerebro al mismo tiempo?  
Arrumbando dogmas  
El cerebro viejo produce neuronas nuevas  
Buscando soluciones  
¿Todos dementes a los 130 años?  
Vejez e inmortalidad

*11. ¿Qué nos dice, acerca de nosotros mismos, conocer algo de cómo funciona el cerebro?*

De genes y medio ambiente  
De cómo el cerebro cambia en su relación con los demás y el mundo  
De cómo elegimos entre personas y cosas  
Sobre la emoción y la competitividad  
De la grandeza y la miseria del cerebro  
Las conjeturas del cerebro  
El cerebro luchando por entender el cerebro

*Glosario*

*Bibliografía*

*Créditos*

*A Santiago Salvador  
y Juan Sebastián*

## PRÓLOGO A ESTA NUEVA EDICIÓN

Una vez más experimento esa alegría que produce el calor y aprecio cercano de los lectores. Y esto ocurre, imagino que para cualquier autor, cuando uno de sus libros tiene una nueva edición o una nueva reimpresión. Este es ahora el caso de *Cómo funciona el cerebro*. Desde su primera edición en el año 2002, va a hacer ahora catorce años, ha sido muy bien recibido. De hecho, es un libro que a lo largo de ese tiempo ha estado siendo reimpresso o actualizado y editado en nuevas colecciones, además de su traducción al portugués en Brasil. Sin duda todo esto obedece quizá no tanto a su valor intrínseco como al inusitado interés actual por conocer cómo funciona el cerebro humano, precisamente el mismo título que lleva el libro. En todo caso, no quiero pecar de excesiva o incluso falsa modestia, pero es bien cierto que las recensiones que se han realizado o los correos o comentarios escritos que recibo son halagadores, en el sentido de que los lectores lo han encontrado de lectura fácil y asequible, y aun «atractivo», sin menoscabo del rigor científico que este tema requiere.

Hoy, trabajar por conocer cómo funciona el cerebro humano implica, particularmente con la neurociencia cognitiva, adentrarse en el corazón mismo de la naturaleza humana, bien es cierto que de modo diferente a como se ha venido haciendo con la filosofía. La neurociencia se desarrolla en el laboratorio, por grupos humanos y utilizando el método científico, y es un método que permite obtener resultados que analizados, criticados y contrastados, permitan alcanzar una verdad más compartida. Así, la neurociencia, y la neurociencia cognitiva en particular, con la ayuda de la psicología cognitiva, avanza por un camino nuevo tirando de los hilos de ese «ovillo vivo de conexiones neuronales» que llamamos cerebro y que nos lleva a conocer mejor esas funciones de las que trata este libro.

Pero lo que trato que se vea claro en este libro es que todo lo que acabo de señalar por sí solo no basta, no es suficiente, para entender cómo funciona el cerebro humano. Se necesita, además, en cada paso, analizarlo con una perspectiva evolutiva y de biología comparada, y en esto último he hecho un esfuerzo constante tratando de incorporar ejemplos didácticos en casi todos los capítulos. Muchos de estos ejemplos, me consta, han sido aplaudidos por muchos lectores. Y es que nadie entenderá nunca el funcionamiento del cerebro sin entender de qué manera éste ha sido construido con puntadas de tiempo azaroso en esa mesa de experimentación inmisericorde que es el proceso de la evolución humana. Y es con ello con lo que se ha alcanzado esa infinita variabilidad que se refleja en el cerebro único y diferente de cada ser humano y su expresión funcional en la conducta, también única y diferente. Cambios, además,

modelados constantemente por el medio ambiente, social y cultural en el que se vive. De esto también se habla en *Cómo funciona el cerebro*.

Y finalmente están esos dos grandes capítulos abiertos por la neurociencia y la biología molecular más reciente para entender mejor al hombre y a su cerebro, y en el contexto social específico en el que vive. Me refiero a la idea de que el ser humano no es solo su cerebro, sino su cerebro y su propio cuerpo, del que constantemente se retroalimenta para poder funcionar adecuadamente. La actividad de casi todos los órganos del cuerpo genera sustancias químicas que tras cruzar la barrera hematoencefálica entran en el cerebro y modulan su propia actividad, particularmente en lo que refiere a las emociones, dando una impronta nueva que nos lleva a poder entender más en raíz las grandes variaciones de la conducta humana a lo largo del tiempo. Si, como me gustaría creer, los lectores siguen acogiendo este libro con el mismo interés como lo han hecho hasta ahora mismo, próximamente aparecerá una nueva edición que incluya un nuevo capítulo titulado «Mi cerebro, mi cuerpo y yo».

Pero no solo eso. También me propongo incluir un nuevo capítulo que se referirá al tema de la epigenética, o cómo todo lo que hacemos en este mundo puede hacer cambiar el funcionamiento de nuestros propios genes y con ello el funcionamiento de nuestro cerebro y nuestro cuerpo. Y lo que es de trascendencia suma: cómo esos cambios pueden ser heredados por nuestros hijos, y en consecuencia ya, de alguna manera, predeterminar el funcionamiento de sus propios cerebros. Este nuevo capítulo llevará el título de «Predeterminando el cerebro funcional de nuestros hijos».

Todo ello justifica, creo que de manera importante, la necesidad de conocer cada vez más y mejor el funcionamiento del cerebro humano, y no solo desde la perspectiva de la investigación científica o académica, sino de toda aquella persona que quiera hacerse responsable de su propia vida en un contexto social. Si continúo recibiendo el apoyo de mis lectores, seguiré trabajando por este *Cómo funciona el cerebro*.

Y ahora, ya al final, mis agradecimientos, que esta vez son solo para ellos, mis lectores, que me han permitido seguir escribiendo y, en manera importante, seguir dándole un sentido a mi vida.

Madrid, enero 2014.

## NOTA A LA PRESENTE EDICIÓN

Este es un libro que, en sus ediciones anteriores, ha tenido una muy buena aceptación por parte de los lectores. Y es cierto que muchas personas legas en Neurociencia están cada vez más interesadas en todo cuanto aparece nuevo sobre cómo funciona el cerebro. Temas como la memoria, la emoción, la educación de los niños en los colegios y en la Universidad, y también sobre la conducta de cada uno, el pensamiento, los sentimientos, las capacidades intelectuales y creativas y las propias creencias, son de interés creciente en relación con los nuevos conocimientos del cerebro. Esto, sin duda, ha justificado esta nueva edición en la colección 13/20 de Alianza Editorial.

Pienso que muy pocos dudan ya que todo acontecer en nuestras vidas, tanto en lo personal como en las relaciones sociales, reside en el funcionamiento del cerebro. Un funcionamiento que arranca de códigos construidos millones de años atrás y que comienzan a ponerse en marcha pocos días después de la misma concepción explotando en «humanidad» tras el nacimiento. Códigos que hacen que el cerebro de una persona, diferente al de cualquier otra, sea un devenir continuo y plástico siempre cambiante, como cambiante es su expresión en lo que piensa y siente a lo largo de todo su arco vital hasta la muerte. Y lo extraordinario son los conocimientos, muchos sorprendentes, que se van acumulando a este respecto en el día a día. Valgan como ejemplos la serie de estudios recientes que nos dicen que la conducta y estilos de vida de una persona no sólo transforman la estructura y funcionamiento de su propio cerebro sino que pueden ser transmitidos, para bien o para mal, al cerebro de sus descendientes. O saber que el aprendizaje que realizamos cuando niños a través de un idioma determinado cambia las redes neuronales que influyen en como luego, ya adultos, vemos el mundo y pensamos sobre el mundo, y que ello es diferente a quienes lo hacen con un idioma diferente. Y esto son sólo dos ejemplos concretos y puntuales de lo que, en un amplio marco de conocimientos básicos, trata este libro

Quiero agradecer a los editores de Alianza Editorial el esfuerzo por llevar a la sociedad, a través de nuevas ediciones, estos conocimientos tan nuevos como necesarios. Y también agradecer a mis lectores su interés en estos temas porque ello permite crear y cultivar una cultura de la ciencia también muy necesaria. Espero que nuevos lectores den una buena acogida a esta nueva edición del libro.

Francisco Mora  
Casa de Jardín, Granada.  
Junio, 2011

## PRÓLOGO A LA SEGUNDA EDICIÓN (2009)

Saber cómo funciona el cerebro, nuestro cerebro, se va a convertir en el eje central de la investigación científica del presente siglo, lo que equivale a decir que será el siglo de la mente. Precisamente, conocer cómo funciona el cerebro significa, en esencia, conocer cómo se producen los procesos mentales, la conciencia y la subjetividad, temas que todavía son los grandes enigmas de la neurociencia actual. Es cierto, sin embargo, que ya empezamos a conocer los mecanismos cerebrales de los procesos de aprendizaje y memoria, la emoción, el sueño y la conducta en general y el significado que todo ello tiene en la vida del ser humano. De esto trata este libro.

Este libro ya fue muy bien acogido por los lectores en su primera edición, en el año 2002, tanto que dio lugar a varias reimpresiones. Y también lo fue posteriormente cuando se reeditó en El libro de bolsillo. Ahora, como expresión quizás de esta buena acogida, los editores de Alianza han considerado lanzar esta edición renovada y actualizada.

Esta nueva edición, como de hecho fue la intención de la primera, no pretende bucear en las profundidades del funcionamiento del cerebro más allá de dar una visión, rigurosa desde luego, pero atractiva y asequible para un gran espectro de lectores. En esencia, lo que quise originalmente y sigo queriendo ahora es intentar hacer pensar al lector, de una manera fácil y espero que agradable, sobre el significado de ese funcionamiento para el ser humano.

En esta segunda edición, aparte de hacer más claros y actualizados algunos párrafos, se ha introducido un nuevo capítulo. Me refiero al capítulo 8 sobre la creatividad, tema hasta ahora bastante desconocido desde la perspectiva de la neurociencia. También han sido revisados el glosario y el índice analítico, y actualizada la bibliografía. Pero sobre todo, y a destacar de modo especial en esta nueva edición, está la inclusión de una serie de ilustraciones con la pretensión de ayudar al lector a navegar por el cerebro. Esto último se debe no sólo a nuestro deseo de facilitar la lectura del texto, sino desde luego a la sugerencia de muchos lectores que en sus correos electrónicos advertían de esta necesidad.

Quisiera una vez más expresar a todos los lectores mi sincero agradecimiento por la acogida que tuvo este libro y que confío la siga teniendo ahora en esta nueva edición. Y una vez más, y nunca suficiente, quiero agradecer a Cristina Castrillo, Valeria Ciompi y Eladio Mayo su amistad, afecto y buen hacer editorial.

Madrid, enero de 2009

## PRÓLOGO

Este libro tiene su origen en un curso de diez lecciones que, a lo largo de una semana, impartí en la Universidad Internacional Menéndez Pelayo (UIMP) en su sede de Valencia. La invitación que para ello recibí de su director, el profesor José Sanmartín, es aquí sinceramente agradecida. Este curso supuso un esfuerzo considerable por mi parte al tener que seleccionar cuidadosamente los temas básicos y centrales que amparaba su título (el mismo que lleva el subtítulo de este libro) y utilizar, además, un lenguaje asequible para profesionales no especializados en temas del cerebro. Al curso asistieron médicos generales, profesionales de enfermería, psiquiatras, psicólogos, filósofos, biólogos, algún ingeniero y un largo etcétera de gentes motivadas por conocer algo más de cómo funciona el cerebro.

Al inicio de aquel curso hacía yo una reflexión introductoria y me preguntaba ¿qué produce hoy este interés general por el cerebro?, ¿qué hay en ello que lo hace diferente, digamos por ejemplo de la física, que, por otra parte, y con un interés parecido, ocupó el primer cuarto del siglo pasado?

¿Cómo es posible que podamos hacer cálculos bastante precisos sobre las estrellas a millones de años luz de distancia y barruntar cómo puede ser esa estrella en composición y movimiento, y que nuestro cerebro, el órgano que elabora esos datos, siga siendo un misterio? Precisamente decía Cajal que «mientras nuestro cerebro sea un arcano, el Universo, reflejo de su estructura, será también un misterio». Pienso que parafraseando a Cajal podríamos decir que nosotros mismos seremos un misterio mientras nuestro cerebro, su funcionamiento, lo sea. Y posiblemente ahí, en conocer la intimidad de ese misterio, reside el interés actual sobre el cerebro. Hoy sabemos que hablar del cerebro es hablar del ser humano mismo. Y nosotros mismos somos ahora, más que nunca, y gracias a la Ciencia, que constantemente aporta conocimientos contrastables y nuevos, el centro de nuestro propio interés intelectual.

Precisamente ese interés se centra hoy en conocer los mecanismos que, en el cerebro, elaboran y hacen brotar a nuestra conciencia ese «nosotros mismos». Eso es a fin de cuentas conocer cómo funciona el cerebro. Con todo, sin embargo, es obligado decir que posiblemente nunca conozcamos, ni completa ni definitivamente, la intimidad del funcionamiento del cerebro humano, porque, como señalaba David Hubel, en su diseño no entra el conocer su propio y último funcionamiento. Es más, pretender conocer cómo funciona el cerebro a partir del análisis que hagamos con nuestras técnicas sin saber los pasos que a lo largo del proceso evolutivo han dado lugar al cerebro actual es como pretender conocer cómo es nuestra sociedad, las reglas que la gobiernan y su

funcionamiento actual sin saber al menos parte de las vicisitudes históricas por las que han pasado las sociedades humanas anteriores y antes de ellas las prehumanas, con sus guerras y sus acomodaciones ante la escasez de alimentos, cambios climáticos, accidentes y hecatombes. De igual modo, entender algo de cómo funciona el cerebro conlleva entender algo de la historia evolutiva del mismo.

No tener esa perspectiva de los procesos evolutivos que han dado lugar a la aparición (y también desaparición) de sus diferentes circuitos y funciones sería como entrar al cine a mitad de la película. Podemos intentar entender cuánto sucede a partir del momento en que entramos en la sala, pero nunca estaremos seguros de entender la historia completa a menos que veamos la película desde el principio. Y la película de nuestro cerebro, ahora que queremos empezar a conocerlo, comenzó con todas sus aventuras, vicisitudes, azar, cambios y reajustes hace más de quinientos millones de años. Ahí es nada. De ahí que siga vigente la frase tantas veces repetida de que en el hombre, sea su cerebro o cualquier otra parte de su cuerpo (o para el caso, cualquier ser vivo), nada puede ser propiamente entendido a menos que su estudio se haga bajo la perspectiva de la evolución.

Por ejemplo, el estudio de los cambios del cerebro a lo largo del proceso evolutivo nos puede llevar a la idea extraña pero plausible de que los procesos mentales pudieran ser una función «colateral» de un cerebro desarrollado exclusivamente con el propósito de sobrevivir bajo presiones múltiples pero muy específicas (Gisolfi y Mora, 2000). La biología evolutiva está aportando piezas a un puzzle muy complicado que esperamos nos lleve algún día a un mejor entendimiento del cerebro humano. Por de pronto ya sabemos que el cuerpo, el cerebro y la mente son un proceso continuo (*continuum*) bajo una construcción unitaria de los seres humanos a lo largo de ese proceso evolutivo (Mora, 2001).

Cuerpo-cerebro-mente-medio ambiente representan así un flujo de información constante que va desde la bioquímica y la morfología hasta la fisiología y la conducta. Es así que cambios en el medio ambiente inducen actividad neural (liberación de neurotransmisores) que puede producir nueva síntesis de proteínas. Estas nuevas proteínas a su vez cambian la morfología de los sistemas neurales, lo que cambia a su vez la función del sistema. Estos cambios plásticos en el cerebro, producidos por cambios en el mundo sensorial que nos rodea y también en nuestro propio cuerpo, son la base de los procesos de aprendizaje y memoria. Es de esta manera como «nuestro creciente sentido de lo que quiera que sea el mundo fuera de nosotros es aprehendido como una modificación en el espacio neural en el que cuerpo y cerebro interactúan» (Damasio, 1994).

Con todo ello se ha logrado un órgano, el cerebro, con una característica sobresaliente, la de trabajar constantemente y no descansar jamás. Su función es permanente y constante desde el primer momento en que empieza a organizarse, a los pocos días tras el nacimiento, hasta la muerte. Ni siquiera descansa en el sueño ni en la enfermedad, ni en ninguna otra circunstancia. El cerebro es, por tanto, un proceso en

constante y permanente cambio y funcionamiento. Ésa es la maravilla creada por la naturaleza. Estas reflexiones son de gran importancia para la comprensión de la naturaleza humana (Mora, 1996).

En este libro, como se hizo en aquel curso de la UIMP, pretendo dar una visión general de cómo funciona el cerebro y que ello, además, consiga despertar el interés del lector no especializado en estos temas. Temas que van desde que abrimos las ventanas del cerebro al mundo, a través de nuestros órganos de los sentidos, hasta nuestra interpretación de cómo es ese mundo y cómo actuamos en él. Aquí he de decir que muchas de las reflexiones vertidas en este libro son un complemento y un regresar constante a aquellas otras ya expuestas en *El reloj de la sabiduría*. De hecho, ambos libros constituyen un solo hilo de pensamiento.

¿Cómo vemos el mundo? ¿El mundo que vemos, tocamos, olemos, existe como tal fuera del cerebro, o lo crea nuestro propio cerebro? ¿Cómo nos emocionamos? ¿Por qué estamos más despiertos y alerta por las mañanas que durante el atardecer o la noche? ¿Por qué es necesario dormir un tercio del tiempo total de nuestras vidas? ¿Sirve el sueño para enfriar el cerebro? ¿Cómo nos movemos por el mundo y actuamos en él? ¿Qué programas utilizamos en nuestro cerebro para hacerlo? ¿Podríamos hibernar nuestro cerebro y nuestro cuerpo durante los viajes espaciales? ¿Cómo trabajan las neuronas, las células del cerebro y sus genes que nos permiten aprender y memorizar? ¿Es el cerebro un ordenador sofisticado? ¿Se puede memorizar algo y recordarlo sin ser consciente? ¿Qué sabemos de ese mundo, a veces tan falsamente manipulado a lo largo de la historia del hombre, que llamamos MENTE Y CONCIENCIA y que hemos glorificado y exaltado hasta llevarlo fuera de sus justos determinantes biológicos? ¿Es la locura un extremo de ese gran abanico de conductas humanas que venimos en denominar diversidad humana? ¿Qué es el envejecimiento cerebral? ¿Se puede rejuvenecer el cerebro envejecido?

Y al final, ¿cuál es la pregunta a la que intenta contestar la función última de todo el cerebro y, con él, la conducta de su portador, el ser vivo?

De todo ello trata este libro. Con él, ya lo señalé a propósito de *El reloj de la sabiduría*, no pretendo reivindicar ninguna idea original más allá de las modestas reflexiones que acompañan datos científicos. Este libro es realmente el resultado de un aprendizaje que he hecho yo mismo y para mí mismo. He aprendido mucho nuevo de cómo funciona el cerebro, y el cuerpo humano en su conjunto, revisando y estudiando toda la información disponible. Hecho que en sí ya ha sido una recompensa enorme. Si con ello, además, he contribuido a ayudar a otros o incluso a compartir la admiración por la inmensa maravilla que es el cerebro humano, habré conseguido alcanzar una meta para mí más que sobresaliente.

Tendría que expresar mi agradecimiento a muchos colegas y amigos con los que he comentado y discutido algunos de los temas vertidos en este libro a lo largo del tiempo. Una tarea tan amplia como casi imposible. A todos ellos mi agradecimiento implícito. Sí

quiero hacer explícito mi agradecimiento a los actuales componentes de mi laboratorio, Simón Amaro, Alberto del Arco, Ledia Fernández, María Aránzazu Galindo, Blanca Márquez de Prado, Tamara Rodríguez Castañeda y Gregorio Segovia, por haber contribuido con sus trabajos a seguir manteniéndome enamorado de esa maravilla que es el cerebro. Y más allá de la gratitud está todo cuanto debo a Ana María Sanguinetti por la entrega incondicional de su tiempo y su talento crítico que ha hecho posible que este libro vea la luz.

## A MODO DE INTRODUCCIÓN. ¿CÓMO FUNCIONA EL CEREBRO?

La ciencia actual, a pesar de lo bien fundado de sus conclusiones, no tiene el derecho de hipotetizar el porvenir. Nuestras afirmaciones no sabrán ir más allá de las revelaciones de los métodos contemporáneos [...]. No se puede rechazar a priori la posibilidad de que el bosque inextricable del cerebro, del que nos imaginamos haber determinado las últimas ramas y hojas, no posea algún enigmático sistema de filamentos enlazando el conjunto neuronal como las lianas sujetan los árboles de los bosques tropicales.

SANTIAGO RAMÓN Y CAJAL

Conferencia del premio Nobel,  
12 de diciembre de 1906.

Alguien podría preguntarse cómo un montón de células enmarañadas unas con otras puede dar lugar a un ser vivo que piensa y siente, que llora y ríe y con ello levanta la mirada hacia el infinito universo y se pregunta por el sentido de su existencia.

FRANCISCO MORA.

Nuestro cerebro es una gran masa gelatinosa de casi un kilo y medio de peso, de color gris, con quizás la mayor complejidad de organización que hasta ahora hayamos conocido. Y, sin embargo, su función básica conduce a un objetivo aparentemente simple: mantener al individuo vivo y en constante contacto con el medio que le rodea. Esta función básica, sin duda compartida con todos los demás seres vivos, se extiende en el hombre a sentir, soñar y tener conciencia de sí mismo. Tanto sueña el hombre que a veces llega a la paradoja de olvidar incluso aquella función básica de seguir vivo y creer que ha encontrado el infinito del que procedió. Como señalaba Dobzhansky (1970) con enorme y justificada incredulidad:

Un hombre consiste en alrededor de  $7 \times 10^{27}$  átomos agrupados en alrededor de  $10^{13}$  células. Esta aglomeración de células y átomos tiene ciertas propiedades sobresalientes. Está viva, siente alegría y sufrimiento, discrimina entre belleza y fealdad y distingue entre lo bueno y lo malo. ¿Cómo ha venido a suceder todo esto?

El cerebro humano (véase figura 1), nuestro cerebro, se ha construido a lo largo del proceso evolutivo como resultado de constantes pruebas de azar y reajustes. Y es así que el tiempo, ese obrero paciente y capaz, ha venido hilando un tejido hecho de células tan entramado, enorme y complejo que ha tardado más de 500 millones de años en hacerlo. Tejido que se ha construido no como un proceso sin rectificaciones, sino, antes al contrario, tejiendo y destejiendo a la vez, acorde a los aciertos y errores que las

vicisitudes cambiantes del medio ambiente han impuesto sobre ese cerebro. Proceso de cambios que sin duda alguna continúa, tanto a lo largo de las generaciones de seres humanos actuales como en la propia intimidad del cerebro de cada hombre concreto con el cambio y remodelamiento de los contactos de las células cerebrales, las sinapsis, a lo largo de toda la vida. Cómo se ha llegado a ese cerebro humano, a ese casi inimaginable y diabólico invento, a nosotros mismos, en definitiva, es el más profundo de los desconocimientos que poseemos.

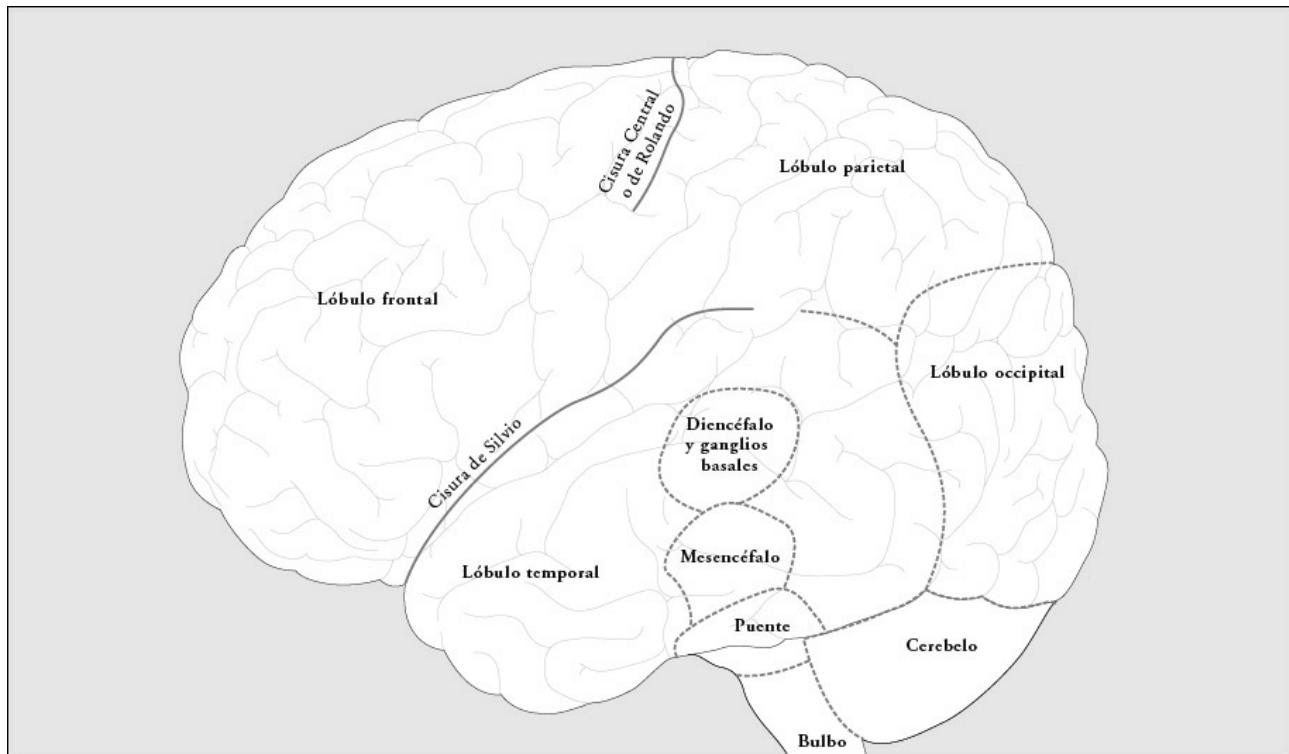


FIGURA 1. Visión lateral del cerebro humano, incluido el tronco del encéfalo.

#### UN BOSQUE GRIS

El cerebro humano es un inmenso y complejo bosque de células y conexiones entre ellas. Ese enmarañado bosque está compuesto de unos 100.000 millones de neuronas de formas y tamaños diferentes (véase figura 2). Se piensa que sólo en la corteza cerebral, que contiene casi la mitad de ese número, es decir, unos 50.000 millones, existen más de 500 tipos de neuronas morfológicamente diferentes distribuidos en 52 áreas, las áreas de Korbinian Brodmann (véase figura 3). Además, junto a esos 100.000 millones de neuronas hay otro tipo de células nerviosas que son la glía. Se estima que hay unas diez células gliales por cada neurona. Todo ello, junto con los vasos sanguíneos y algunas cubiertas protectoras, compone el entramado celular básico del cerebro. Pero lo que distingue a las células del cerebro frente a cualesquiera otras del resto del cuerpo es su

florida arquitectura. De hecho, se asemejan a un árbol con su tronco y sus raíces (axón) y un frondoso ramaje y hojas que la adornan y que las hacen únicas (las dendritas).

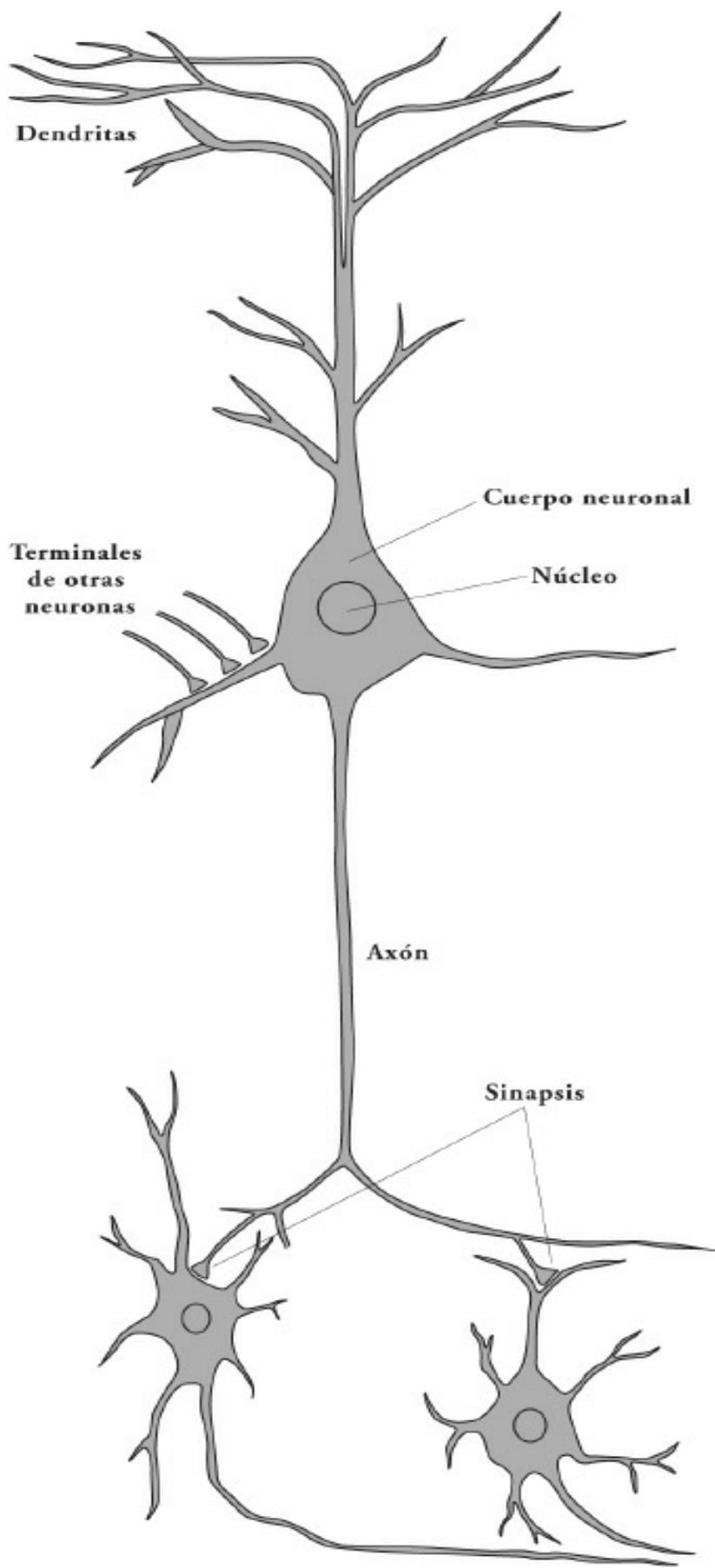


FIGURA 2. Célula nerviosa (neurona) con dendritas y las terminales del axón comunicando con otras neuronas a través de las sinapsis.

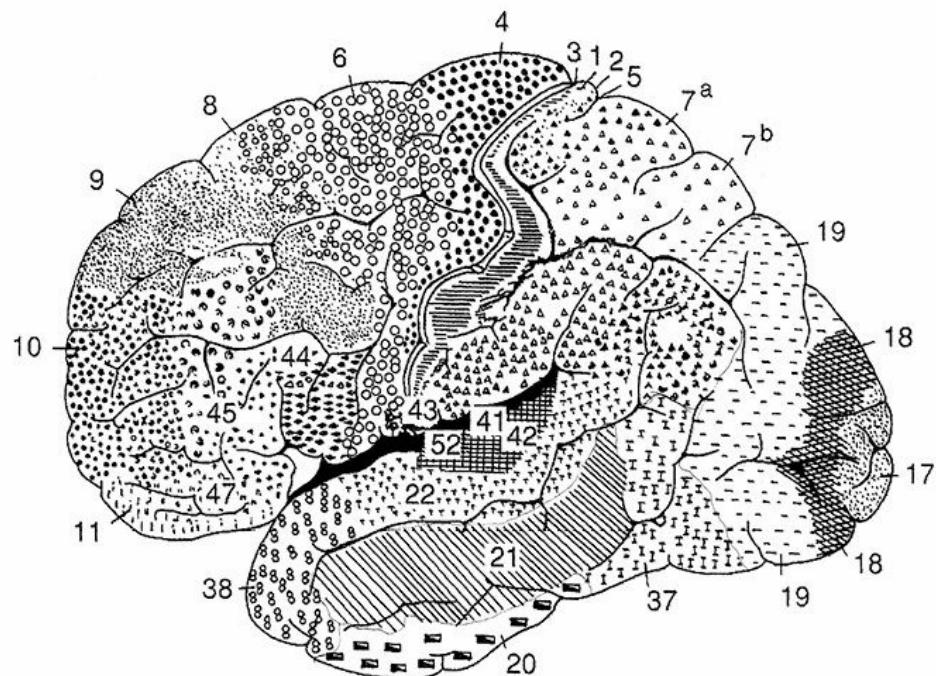


FIGURA 3. Visión lateral del cerebro humano. Áreas de Brodmann (véase Glosario).

El cerebro, sin embargo, no es un ovillo o una red continua entre células y sus ramificaciones como preconizaba el gran histólogo italiano Camilo Golgi. Por el contrario, cada neurona, como demostró por primera vez Ramón y Cajal, conserva una perfecta individualidad, «son individualidades morfológicas» —como él mismo señalaba—. Cada una de estas neuronas se comunica con otras tantas, miles, a través de los contactos que establecen sus prolongaciones. ¿De qué modo, si no, sería posible encontrar funciones tan diversas en el cerebro como vigilia y sueño, hambre y saciedad, alegría y tristeza, si todo fuera un retículo? Añadía Cajal:

Estas disposiciones morfológicas atestiguan que los elementos nerviosos poseen relaciones recíprocas de contigüidad y no de continuidad y que estas relaciones de contacto más o menos íntimo se establecen siempre, no entre las arborizaciones nerviosas solas, sino entre estas ramificaciones, de una parte, y el cuerpo y las prolongaciones protoplasmáticas, de otra parte.

Estos contactos se conocen hoy con el nombre de sinapsis (contacto en griego), dado por el gran neurofisiólogo británico, también premio Nobel, Charles Sherrington. Se calcula que puede haber unas  $10^{15}$  sinapsis en todo el cerebro. De hecho, una sola

neurona de la corteza cerebral, las grandes células piramidales, puede tener entre 30.000 y 40.000 puntos de contacto o, dando otro ejemplo, el número de sinapsis de una neurona del cerebelo puede llegar a alcanzar las 90.000.

Es, en esta concepción de la individualidad de las neuronas, donde cobran todo su sentido las ideas actuales acerca del funcionamiento del cerebro. Efectivamente, las neuronas, tras recibir información de otras neuronas a través de sus ramificaciones, crean un mensaje que es transrito, a su vez, a otras neuronas de una cadena o circuito. Decía Cajal:

puesto que la naturaleza, a fin de asegurar y amplificar los contactos, ha creado sistemas complicados de ramificaciones pericelulares (sistemas que llegarían a ser incomprensibles en la hipótesis de la continuidad), es preciso admitir que las corrientes nerviosas se transmiten de un elemento a otro en virtud de una especie de inducción o influencia a distancia... es así que el movimiento nervioso es en estas prolongaciones celulípeto o axípeto (va hacia el cuerpo celular y de éste al tronco o axón de la neurona), en tanto que es celulífugo en los axones (sale por el tronco de la célula o axón). Esta fórmula se llama de la polarización dinámica de las neuronas.

#### DE LAS AUTOPISTAS A LOS CAMINOS VECINALES

Esto no debe llevarnos a la idea de que hoy se conoce la intimidad de las conexiones de las neuronas del cerebro. Sólo la corteza cerebral es una maraña tan intrincada como desconocida. Ciertamente se conocen bastante bien las grandes conexiones entre las diferentes áreas de la corteza cerebral o entre estas áreas corticales y otras áreas del cerebro (las grandes carreteras), pero nuestro conocimiento actual acerca de la íntima conectividad de las neuronas en la propia corteza cerebral es muy pobre (los caminos vecinales). De hecho, las reglas que controlan y dirigen la conectividad local cortical son prácticamente desconocidas. Y hoy se piensa que tales conexiones pueden establecerse o bien de un modo probabilístico o bien de acuerdo con unas leyes estrictas y predecibles, pero que simplemente las desconocemos. Hoy la neurociencia trata de desbrozar y ver hacia dónde conducen los caminos vecinales del cerebro que arrancan de las grandes autopistas. Aun cuando para algunas áreas del cerebro empiezan a vislumbrarse algunos hallazgos, para los circuitos de la mayoría de las áreas corticales estas intrincadas conexiones y las reglas que las gobiernan siguen siendo un misterio.

Será difícil determinar con precisión los últimos y más diminutos vericuetos, dado que son diferentes para cada cerebro y posiblemente incluso serán también diferentes en un mismo cerebro, según la edad del individuo y su interacción particular con el mundo. Señalan Edelman y Tononi (2000):

aun, cuando en su conjunto, el patrón de las conexiones de un área en un cerebro

dado es describible en términos generales, la variabilidad microscópica del cerebro en las más finas ramificaciones de sus neuronas es enorme, y esta variabilidad hace que cada cerebro sea significativamente único... y esto permite sugerir que la función del cerebro pueda depender de teorías que incluyan la variabilidad.

La información que corre por estas autopistas y caminos vecinales es eléctrica, pero al llegar a la intimidad de los puntos de contacto esta electricidad desaparece y se transforma en química. En esas sinapsis o puntos de contacto hay un espacio abierto que no puede ser salvado por la comunicación eléctrica que corre por las neuronas. La información se transfiere de una neurona a otra gracias a uno o múltiples mensajeros químicos que navegan en ese espacio abierto para llevar la información desde el terminal neuronal en el que se han liberado (membrana presináptica) al terminal de la otra neurona (membrana postsináptica) (véase figura 4). Estas sustancias químicas son los neurotransmisores; esto es, las moléculas que «transmiten» la información «neuronal». En sólo uno de esos contactos (de casi el trillón que tiene el cerebro) el tráfico molecular con el que se transfiere la información de una célula a la otra es enorme. Cada una de estas conexiones microscópicas (sinapsis), de las que Cajal decía que se trataba de «un cemento granuloso o sustancia conductora particular que serviría para unir muy íntimamente las superficies neuronales en contacto», es nada menos que un complicado ordenador en el que juegan el espacio y el tiempo, la física y la química.

#### LA NEURONA CREADORA

No deben llevarnos todas estas descripciones a la idea general de que la neurona transmite pasivamente las señales que le llegan, primero en códigos eléctricos y después en códigos químicos. Antes al contrario, la neurona es un elemento activo y tan inteligente que tiene su propio código de funcionamiento, con el que integra toda la información que recibe (lo que incluye el ignorar ciertos mensajes que le llegan) y crea así su propia información, que transmite a la neurona siguiente. De este modo, aun cuando el asiento último de una función específica del cerebro se encuentra en el circuito o conjunto de una serie de neuronas, éste (el circuito) funciona integrando los códigos y mensajes de cada una de sus neuronas.

#### EL MUNDO QUE NOS RODEA

Los sutiles hilos del tiempo han ido bordando el dibujo de un tejido vivo que se comunica entre sí por códigos cuyo destilado final es sólo uno y principal: aquel de mantener la supervivencia de su poseedor ante un hosco y competitivo medio ambiente que además cambia constantemente. ¿Cuáles son estos códigos? ¿Y cuáles los patrones

por los que las corrientes físicas y químicas que los leen corretean por los caminos todavía inescrutables de las más altas funciones del cerebro? ¿Cuál es el esquema de organización general que tiene el cerebro que le permite ejercer esa función de mantenerse vivo ante las enormes vicisitudes que presenta el mundo frente a él, desde buscar y encontrar alimento hasta evitar los depredadores y luchar por la hembra y reproducirse? ¿Cómo establece nuestro cerebro (nosotros mismos) contacto con la realidad que nos rodea? ¿Es la realidad externa captada de modo fidedigno por nuestro cerebro? ¿Somos capaces o, expresado de otra manera, ha sido nuestro cerebro diseñado para captar sin más, pasivamente, la realidad «real» que nos rodea? ¿Son los árboles, los animales, los objetos que vemos y oímos fenómenos que como tales existen y viven en una realidad que está tal cual dibujada «ahí afuera»? Preguntas aparentemente simples pero que son, en realidad, tan desafiantes como desconcertantes son sus respuestas. Y eso es lo que veremos, tras reflexionar juntos a la luz de las neurociencias más actuales.

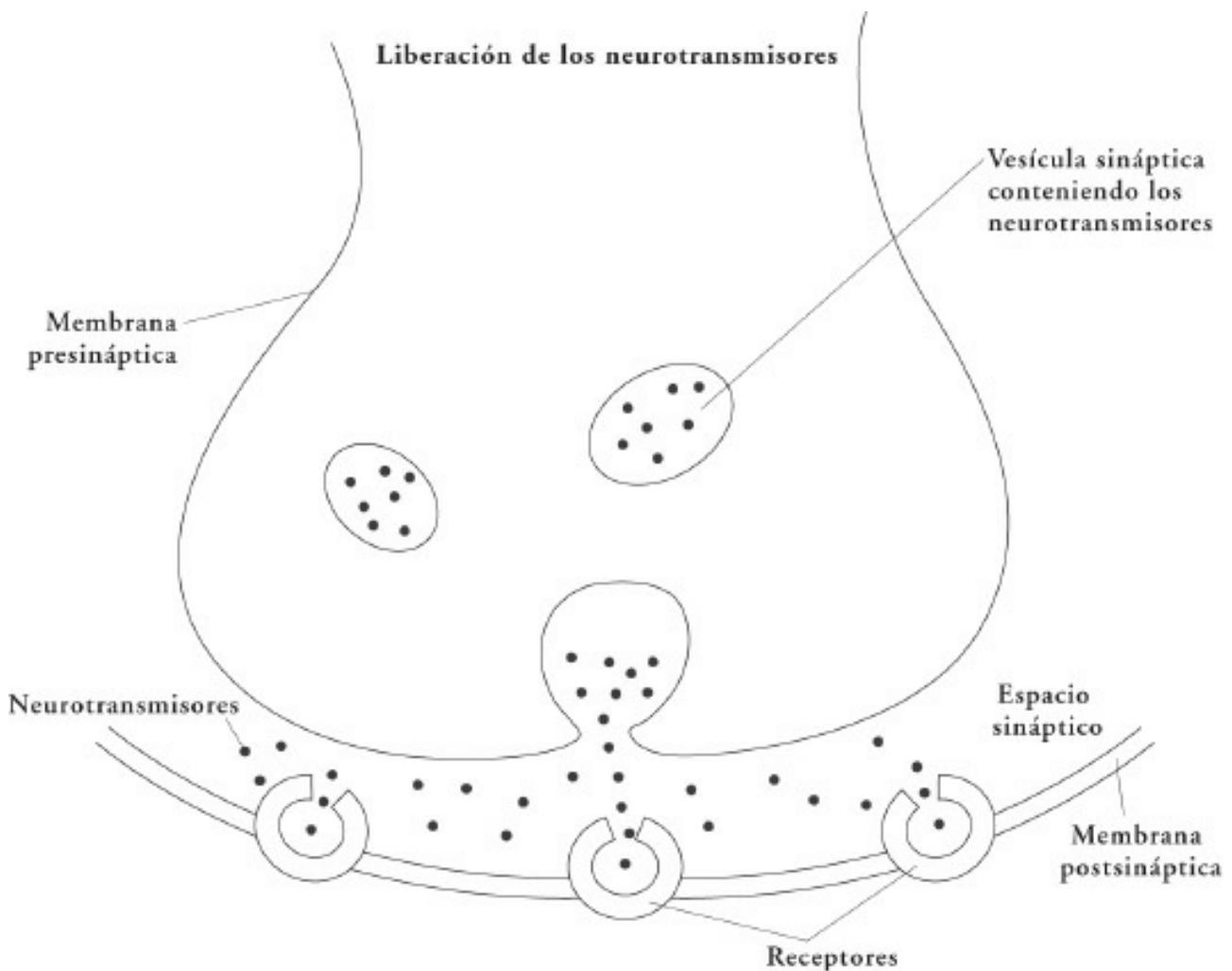


FIGURA 4. Estructuras de una sinapsis.

De momento debiera ser suficiente reconocer, harto sabido por otra parte, que a través

de nuestros receptores sensoriales tomamos contacto con el mundo que nos rodea. Nuestros receptores sensoriales, sean la vista, el oído, el tacto, el gusto o el olfato, tienen la capacidad de realizar ese contacto. ¿Cómo lo hacen? Hasta donde sabemos, nuestros receptores son transformadores. Transforman un tipo de energía en otro. Es decir, transforman un tipo de energía, como pueden ser las ondas electromagnéticas (visión), ondas de presión (sonido), cambios mecánicos de nuestra piel (tacto), partículas químicas (gusto y olfato), en eventos eléctricos para que tal mensaje sea entendido por nuestro cerebro. De este modo, nuestro cerebro depende de nuestros traductores para manejarse en el mundo. Está claro, deducido de esto último, que el entramado íntimo de nuestro cerebro no entiende nada de las energías que existen en el mundo real a menos que estas energías sean traducidas. Y es que nuestro cerebro sólo usa, y entiende, señales eléctricas para procesar toda la información que recibe del medio ambiente que le rodea. ¿Y qué es lo que revelan, por ejemplo, las ondas electromagnéticas (la luz, en definitiva) en el caso de la visión? Lo que revelan o ponen de manifiesto para nuestra retina son los estímulos provenientes de ese mundo, sea éste el que sea.

Lo realmente sorprendente es que, hasta donde la neurociencia nos va desentrañando, la realidad que construye nuestro cerebro no es una traducción fiel a la realidad que existe fuera de nosotros. La realidad externa, la que vemos todos los días, de animales, cosas y personas, es un constructo que hace nuestro cerebro sobre la base de su funcionamiento que, en alguna medida, viene preprogramado por los logros obtenidos a través de la evolución en esa lucha por sobrevivir. Las formas, los colores, el movimiento se hacen en las redes neuronales de nuestro cerebro sobre la base del preprograma básico que hemos heredado y la información que recibimos de ese medio ambiente. Y esa realidad gracias a los códigos cerebrales que la construyen es «realidad» en tanto que nos ha servido para seguir vivos. Y así vivimos acordes a ella. Nuestra conciencia no discute la «realidad» per se, simplemente la acepta porque es útil. Saber cómo nuestro cerebro construye esa realidad «tan nuestra» sobre los programas preexistentes heredados es una de las aportaciones de la neurociencia actual más desafiantes para el saber de nuestros días.

## LAS MONEDAS UNIVERSALES DEL CEREBRO

Desde una abeja hasta el hombre se utilizan las mismas piezas de información, que son en realidad códigos eléctricos, para procesar las señales neurales. Estas señales son unidades o monedas universales prácticamente iguales en todas las vías cerebrales, independientemente del contenido simbólico de información que transmiten (tacto, vista, oído o incluso los más altos contenidos mentales o de conciencia en el caso del hombre). Por un lado, si dos neuronas están en contacto muy próximo, basta con un cambio eléctrico muy puntual, local, para que sea suficiente cuchichear y comunicarse entre ellas. Son los llamados potenciales locales. Se llaman así porque son restringidos al sitio

en que se originan y son pasivos. Si, por el contrario, las neuronas están muy alejadas entre sí, esta corriente eléctrica que transmite el mensaje debe hacerlo llegar intacto a la neurona siguiente. Para ello esta corriente eléctrica debe ser activa y correr a lo largo de la célula sin cambiar en absoluto sus características. (Una neurona de la médula espinal comunicando su información al músculo del dedo gordo del pie debe llevar su mensaje a cuestas a más de un metro de distancia, y a menos que este mensaje realice todo ese trayecto de modo intacto, la comunicación que alcanza al músculo no será la adecuada y, consecuentemente, el movimiento realizado será incorrecto.) Este segundo código de comunicación se realiza por potenciales de acción. Se llaman potenciales de acción porque son activos, se mueven, se propagan. Una vez generados corren a lo largo de la fibra nerviosa, como una llama a lo largo de una línea de pólvora una vez prendida, y comunican información entre neuronas o neurona-músculo a grandes distancias. Son unidades estereotipadas, consideradas como moneda universal de intercambio de información, como lo es el ATP en la energía para la célula. Y es de esta forma que la información codificada en señales eléctricas transcurre desde nuestros receptores hasta las áreas cerebrales, donde se procesa y decodifica. Y así se alcanzan los procesos de sensación y percepción.

### ¿POR QUÉ YO NO ENTIENDO EL CHINO?

Nada es percibido «porque sí», ni percibido pasivamente. Percibir necesita de un proceso de aprendizaje a lo largo del tiempo que es lo mismo que decir un constante modelado bioquímico, anatómico y fisiológico de nuestro cerebro. Nada, en nuestro mundo, es perceptible a menos que nuestro cerebro realice un constante aprendizaje. Un ejemplo: a nivel del órgano de Corti, en el oído interno, el escuchar hablar chino es igual para un chino que para mí. La información de oír hablar chino codificada en las señales eléctricas y químicas que se transmiten por las vías sensoriales es posiblemente la misma para los dos. Sin embargo, el chino decodifica esos sonidos en su corteza cerebral y comprende su significado, es decir, entiende el chino (ha aprendido previamente). Yo, no. De hecho, el cerebro sensorial, y también el cerebro motor, se hacen (y se transforman) con la experiencia (aprendizaje y memoria) a lo largo de toda nuestra vida, aun cuando particularmente durante el desarrollo temprano del individuo (se verá en los capítulos siguientes). Este ejemplo, el del chino, es un ejemplo que aun cuando harto complicado en términos neurobiológicos se puede entender bastante bien. Sin embargo, es más difícil ver que incluso la más elemental forma de percepción (la visión de una manzana, por ejemplo, y saber y reconocer que es una manzana y clasificarla o categorizarla en el mundo de los alimentos y ponerle su etiqueta de bueno o placentero) requiere también de este aprendizaje lento y largo durante el cual nuestro cerebro es cincelado por el medio ambiente actualizando así sus códigos genéticos y volviéndolo de este modo capaz de decodificar su forma, su color, su movimiento y su colorido

emocional.

¿Cómo se descifran en mi cerebro los códigos de información sensorial que llegan a él? El proceso por el que reconocemos el mundo externo tiene su base primigenia: está en los genes. Genéticamente ya traemos la preorganización cerebral para ese reconocimiento. Sin embargo, para que tal potencialidad sea un hecho se necesita de nuestro contacto con el mundo desde el mismo nacimiento, es decir, del aprendizaje constante a través de prueba-error. Y es de esta manera que esa realidad se construye en un proceso activo, en el cerebro. Para Llinás (2001) «la significación de la información sensorial cobra representación en el cerebro vía impacto sobre la disposición funcional preexistente en el mismo». A este respecto son ilustrativas las descripciones de niños que tras nacer con cataratas congénitas y ser de hecho «ciegos» durante años, al cumplir los 12 o los 14 años y ser operados, pudieron ver por primera vez el mundo que les rodeaba. Nos cuenta Delgado (1973):

Durante los primeros días, a pesar de la normalidad de sus ojos, este mundo visible carecía para ellos de significado y sólo podían reconocer los objetos familiares, tales como un bastón o su silla favorita, mediante la exploración manual. Después fue necesario un lento proceso de aprendizaje para que esos niños aprendieran a percibir el significado de las luces, formas y sombras. Después de un largo periodo de enseñanza, la capacidad de reconocimiento visual mejoró, sin alcanzar nunca una normalidad completa. Por ejemplo, la distinción entre un cuadrado y un hexágono requería un laborioso y con frecuencia erróneo recuento manual de las esquinas y en otras ocasiones confundían un gallo con un caballo porque ambos tenían cola. Un niño ciego muy inteligente que recuperó la vista cuando tenía once años confundió la imagen de un pez con la de un camello porque identificaba la aleta dorsal del pez con la giba del camello.

Todo ello indica que el cerebro tiene la potencialidad de percibir formas pero ello sólo se realiza mediante el aprendizaje, lo que equivale, en la neurociencia actual, a hablar de plasticidad neural y organización sináptica de las áreas sensoriales del cerebro en función del aprendizaje y la experiencia.

## ROCAS, ARDILLAS Y FANTASMAS

En el ser humano adulto, nuestra dependencia del mundo sensorial es igualmente imprescindible. Nuestra salud mental, el interpretar el mundo de las cosas y lo demás correctamente está condicionado a un constante contacto con la realidad perceptiva del mundo y de los otros. Somos seres esclavos de la realidad sensorial circundante de nuestro propio mundo. Son ilustrativos a este respecto los experimentos realizados con una serie de estudiantes a los que se aisló en cubículos difusamente iluminados, usando

gafas translúcidas para disminuir la sensación óptica y guantes con puños de cartón para limitar la percepción táctil y comprobar:

Después de varias horas de aislamiento como muchos de ellos comenzaron a ver imágenes tales como «una roca a la sombra de un árbol», «una procesión de ardillas», «animales prehistóricos que caminan por una selva». Al principio los sujetos se sorprendieron y divirtieron con estas imágenes, pero después de algún tiempo sus alucinaciones eran molestas. Los estudiantes tenían poco control sobre estos fenómenos, que incluían percepciones tales como «gente que hablaba», «una caja de música tocando», o «un coro que cantaba con sonido estereofónico». Algunos sujetos dijeron haber experimentado sensaciones de movimiento o táctiles, o sentimientos de «alienación» o la impresión de que otro cuerpo estaba tendido a su lado en la cama (Delgado, 1973).

#### DE ÁRBOLES, PERROS Y GATOS

¿Cómo ese mundo que vemos tan diverso y heterogéneo frente a nosotros lo puede clasificar nuestro cerebro de modo que simplificamos con ello tan enorme diversidad? ¿Cómo es que, por ejemplo, a los perros, animales con tan diferentes formas, tamaños, colores, pelajes, los podemos clasificar en una sola categoría, aquella de perro, y conformar con ello un abstracto que sería un perro universal, todos los perros del mundo? Está claro que el sentido de toda información sensorial se adquiere tras ser ésta abstraída y clasificada de forma que este proceso es el nexo entre percepción y cognición. El ser humano piensa con ideas, con abstractos. Entre la percepción y la cognición está la función de clasificar, es decir, lo percibido pertenece a este grupo de cosas o a aquel otro grupo de cosas. Cuando vemos un perro y un gato o aun una forma que se aproxima a uno u otro animal, «gato muy parecido a perro» o «perro muy parecido a gato», nuestro cerebro inexorablemente extrae una idea clara de esa percepción, sea ésta «gato» o «perro» (sin confusión), y ahí comienza el proceso de pensar. Nuestro cerebro maneja ideas. Y a mayor claridad de ideas, a mayor claridad en la clasificación de nuestros perceptos, mayor claridad en el proceso de pensar sobre aquello que vemos y sus significados. Nuestro pensamiento se enlentece y trabaja con dificultad cuando se trata de conceptos que rompen la clasificación así previamente aprendida. ¿Existe un dónde y un cómo se realiza ese proceso de abstracción y clasificación en el cerebro humano? ¿Es posible obtener alguna información de ello en animales de experimentación? Recientes estudios realizados en monos están mostrando las bases neuronales de estos procesos y poniendo de relieve, así, uno de los aspectos más fascinantes con los que se enfrenta la neurociencia cognitiva, aquel de la categorización o abstracción ante el mundo.

## DE LO QUE SE VE A LO QUE SE SIENTE

Y tras la decodificación sensorial y la construcción de un percepto, léase el reconocimiento consciente de estar viendo una manzana, esta información llega a nuestro cerebro emocional. Ésta es una de las funciones más profundamente ancladas en el cerebro desde que éste comenzó su andadura hace muchos millones de años. Las raíces de los códigos emocionales del cerebro son tan profundas que bañan y alimentan todas sus demás funciones. Efectivamente, la información pasa a ese otro cerebro dentro del cerebro que llamamos sistema límbico, donde se le imprime un valor, una etiqueta de bueno o malo, y es de este modo que el mundo que hemos construido se hace personal. Ahí, en ese cerebro límbico, es donde todo empieza a adquirir un «tinte» único para el individuo. Porque es en ese cerebro emocional donde hemos venido tejiendo, a lo largo de nuestra vida desde el nacimiento, nuestro sentimiento más profundo, más real y sentido de nosotros mismos y de todo lo que nos rodea. Es ahí donde abrimos la puerta de nuestra individualidad, adquiriendo el verdadero conocimiento que nos sirve para seguir vivos.

Con el nacimiento de los sentimientos (la parte consciente de las emociones) el hombre se torna humano. Siente y comparte las cosas, las ideas y hasta su propia vida en un grado nunca alcanzado por las emociones brutas. Con los sentimientos, el ser humano «enciende» las conexiones de ese sistema emocional profundo a tal grado que lleva la poderosa corteza cerebral al máximo de sus funciones cognoscitivas y mentales. Con ello el hombre escala en el mundo de las percepciones y de la visión de lo inefable hasta creer haber alcanzado a Dios (Mora, 2000).

Es tras todo este proceso y sólo después que esta información ha sido elaborada en áreas de asociación de la corteza cerebral cuando la información se transfiere a las áreas motoras del cerebro para realizar una conducta.

## PREDICCIÓN Y ANTICIPACIÓN

«Prediction is the ultimate function of the brain», señala Llinás.

El ser vivo debe anticipar el resultado de un determinado movimiento sobre la base de los estímulos sensoriales que recibe. Un cambio en su medio ambiente inmediato debe producir como respuesta un movimiento (o inhibición de un movimiento) con el que asegurar la supervivencia. La capacidad de predecir el resultado de futuros sucesos (crítico para un movimiento con éxito) es, muy probablemente, la última y más común de todas las funciones globales del cerebro... la ejecución exitosa de un movimiento activo dirigido a un objetivo

concreto es además una operación básica fundamental en orden a conservar tiempo y energía (Llinás, 2001).

Y, efectivamente, es nuestra acción en el mundo lo que nos mantiene vivos y además transforma ese mismo mundo que, a su vez, en un proceso nunca acabado, nos transforma a nosotros mismos.

### ¿ES EL CEREBRO UN ORDENADOR MUY SOFISTICADO?

Con todo lo descrito hasta ahora pareciera como si el cerebro fuese un ordenador muy sofisticado y similar de alguna manera a los ordenadores que todos conocemos. Sin duda, los ordenadores han contribuido a entender el mundo de la ciencia de una manera ciertamente revolucionaria. Las ciencias de la computación han contribuido de igual modo al entendimiento de las neurociencias cognitivas, desarrollando modelos que han permitido ir avanzando nuestros conocimientos de las propiedades de las neuronas y sus capacidades de integración de información y a partir de dichos modelos teóricos vaticinar cómo puede funcionar un conjunto de neuronas, es decir, un circuito neuronal.

Ciertamente es útil, cuando se trata de explicar el funcionamiento del cerebro, utilizar el símil del ordenador, un sistema electrónico que tiene entradas de información, un procesador que las elabora y un sistema de salida o respuestas a la información recibida y que ha sido elaborada. Y es de esta forma que se utiliza tal símil para explicar que el cerebro funciona procesando la información que recibe a través de los órganos de los sentidos, sean éstos vista, oído, tacto, gusto u olfato, y tras procesar y elaborar los significados de estas informaciones procede a emitir una respuesta motora (conducta) o, en su caso, la guarda, memoriza, para, quizás en otro momento, utilizarla y proceder entonces a emitir la correspondiente respuesta.

Sin embargo, y aun cuando esta manera de ver el funcionamiento del cerebro es útil, dista mucho de poder explicarlo de forma correcta. Ello es debido fundamentalmente a que el cerebro no funciona como un ordenador (ni siquiera como el ordenador más sofisticado que se haya construido jamás) porque éste carece de muchos de los ingredientes que tiene el cerebro humano y que son absolutamente básicos para su funcionamiento. Entre estos ingredientes están (aparte su propia y compleja historia acumulada a lo largo de millones de años) las emociones, los sentimientos, los cambios constantes de su íntima estructura producidos por el aprendizaje y la memoria y, en general, los procesos de conciencia.

El ordenador procesa información sin ese ingrediente (al parecer intrínseco a ciertos circuitos del cerebro) que llamamos conciencia. Ello equivale a decir que el ordenador procesa la información que recibe sin «saber» que está procesando en ningún momento. Por el contrario, el cerebro humano «sabe» lo que hace (al menos en algunas cosas). Tiene conciencia. Es más, el ser humano poseedor del cerebro que procesa toda

información no ve ni oye ni percibe nada (a pesar de estar rodeado y bombardeado constantemente por todos los estímulos sensoriales que le rodean) a menos que aquella información sensorial tenga algún significado para él. Sólo ante aquello que significa algo la maquinaria atencional del cerebro se pone en marcha. Sólo cuando se tiene hambre, el alimento significa algo y se detecta en el entorno rápidamente. Precisamente para detectar el alimento y previo a ello hay que tener hambre, es decir, hay que poner en marcha la maquinaria emocional que es la que detecta informaciones sensoriales que dicen algo. Es entonces cuando el cerebro se pone a trabajar y procesar la información sensorial correspondiente. Decía Blakemore (1977):

el primer requerimiento de una máquina consciente (aun cuando quizá no sea ésta una garantía de conciencia) es la motivación. El sistema nervioso no ha evolucionado como un diseño para el ejercicio intelectual y la reflexión consciente; simplemente hizo animales mucho mejores en alcanzar sus metas biológicas que son las de comer, beber y reproducirse ellos mismos. ¡Cosas, por otra parte, que no interesan a los computadores!

Es por esto último por lo que también señalaban en un artículo Francisco Varela y sus colaboradores (2001):

Tradicionalmente los receptores sensoriales se toman como el inicio (del funcionamiento del cerebro), de modo que la percepción se describe en términos de *feed-forward* o de jerarquía del sistema de abajo-arriba, es decir, de los más elementales sistemas de procesamiento a los más altos y complejos. Sin embargo, una forma alternativa de tomar como inicio (el funcionamiento del cerebro) se encuentra en la actividad endógena del cerebro que proveen los estados de preparación, expectación, tono emocional y atención (entre otras), los cuales están necesariamente activos al mismo tiempo que se produce la entrada de información sensorial. Esta actividad endógena se centra en la actividad de los lóbulos frontales o el sistema límbico o en las redes neuronales de las cortezas temporales y de asociación, aun cuando lejos de los receptores sensoriales. Esta actividad se puede referir como actividad de arriba-abajo o *feed-back*, y existen evidencias tanto psicofísicas como fisiológicas de que su actividad participa incluso en las etapas más tempranas de la percepción sensorial.

Pero al final sigue quedando esta pregunta: ¿es al fin y a la postre nuestro cerebro un ordenador altamente complejo y sofisticado? Señala Churchland (1990):

La metáfora dominante de nuestro tiempo enlaza al cerebro con el computador. Es muy difícil encontrar puntos que sean relevantes en estas similitudes tales como los principios de la función cerebral y la función del ordenador. Ciertamente hay profundas diferencias entre los cerebros y los computadores

electrónicos personales, y es discutible si para muchas funciones del cerebro las comparaciones con un ordenador han sido confusas y equívocas. Quizás una de las más perniciosas ha sido la sugerencia de que el sistema nervioso es sólo el hardware y que lo que en realidad necesitamos entender es el «software cognitivo». La distinción entre hardware-software aplicado al cerebro es un dualismo y otro error.

#### SEIS ARGUMENTOS A FAVOR DE QUE EL CEREBRO NO ES UN COMPUTADOR

En definitiva, un computador, el más sofisticado y de diseño más exquisitamente neuronal, dista un infinito de la idea que preside la construcción y el funcionamiento de un cerebro. Así lo señalan Edelman y Tononi (2000):

Una revisión rápida de la neuroanatomía y la dinámica neural indica que el cerebro tiene unas características especiales de organización y funcionamiento que no parecen consistentes con la idea de que éste (el cerebro) siga una serie de instrucciones precisas o que ejecute computaciones. Hoy sabemos que el cerebro está interconectado de tal manera que no se puede comparar con ninguna máquina diseñada por el hombre.

Estos autores resaltan claramente algunas de las principales características que distinguen y diferencian un cerebro de un computador:

*Primera:*

Cientos y cientos de millones de conexiones que hacen la estructura conectiva íntima del cerebro no son conexiones exactas; «si preguntamos si las conexiones son idénticas en cualesquiera dos cerebros de un tamaño parecido, como ocurriría en los computadores de construcción parecida, la contestación es no».

*Segunda:*

Cada cerebro es único en tanto que sus conexiones y funcionamiento representan la historia de su desarrollo individual y la experiencia a lo largo de su andadura vital, ya que durante ella hay cambios constantes, incluso de todos los días, en esas conexiones cerebrales; «de un día al siguiente [...] esta variabilidad individual intrínseca al sistema no es “ruido” o “error” sino que afecta en la manera en que el sistema funciona. [...] Ninguna máquina, en el momento actual, incorpora tal diversidad individual como una característica central de su diseño».

*Tercera:*

En las señales que un cerebro recibe y procesa se descubren características que son únicas para el cerebro; «el mundo no se presenta al cerebro como una cinta de computador conteniendo una serie de señales claras y no ambiguas. Por el

contrario, el cerebro es capaz de categorizar y clasificar patrones desde una enorme serie de señales variables [...] la capacidad del sistema nervioso de realizar una categorización perceptual con diferentes tipos de señales para la visión, sonido, etc., dividiéndolas en clases o tipos coherentes sin un código preestipulado, es ciertamente especial y sigue sin ser comparable a como pudiera hacerlo un ordenador».

*Cuarta:*

El cerebro tiene muchas conexiones que partiendo de ciertos núcleos establecen conexiones difusas en grandes áreas que lo alertan y le hacen capaz de distinguir procesos importantes en el medio ambiente y refuerzan las sinapsis en este proceso; «sistemas con estas propiedades cruciales no se encuentran en las máquinas diseñadas por el hombre, aun cuando su importancia para el aprendizaje y las conductas adaptativas está muy bien documentada».

*Quinta:*

«Si consideramos la dinámica neural (es decir, la forma o manera con la que los patrones de actividad del cerebro cambian con el tiempo), la característica especial más impresionante de los cerebros de los vertebrados superiores es la existencia de un proceso que llamamos reentradas, [...] es el constante y recursivo intercambio de señales en paralelo entre áreas reciprocamente interconectadas del cerebro, un intercambio que coordina constantemente la actividad de estas áreas tanto en el espacio como en el tiempo [...] una característica impresionante de estas reentradas es la sincronización extendida de la actividad de diferentes grupos de neuronas activas distribuidas a lo largo y ancho de muchas y diferentes áreas especializadas del cerebro». Todo ello está ausente en el mismo grado en cualquier ordenador.

*Sexta:*

Esta característica tiene que ver con la quinta. Señalan Edelman y Tononi: «Por supuesto, si se nos preguntara por una característica única de los cerebros superiores, diríamos que es el fenómeno de las reentradas. No hay ningún otro objeto o máquina en el universo que distinga tan completamente al cerebro humano como los circuitos de reentradas. Estos sistemas reentrantes son masivamente paralelos a un grado tal que es inimaginable en nuestras redes de comunicación (artificiales). En cualquier caso, las redes de comunicación computacionales, a diferencia de los cerebros, trabajan con señales previamente codificadas y en su mayor parte con señales precisas y que no admiten más de una interpretación».

Con todo lo descrito pareciera como si el cerebro fuese autónomo y suficiente en sí mismo. ¿Dónde queda en ese esquema mi propio cuerpo? ¿Acaso mi cerebro no es un órgano junto a otros muchos de mi propio cuerpo con los que funciona e interactúa? ¿Qué es el cerebro sino una parte de ese «uno» que soy como corporeidad? ¿Acaso mi cerebro interactúa con el mundo de una manera directa incorpórea? Mi cerebro mide cada dimensión de mí mismo en mi cuerpo, mis manos con las que toco y mis piernas con las que corro, y se hace con ella y me traslada al y en el mundo. Y de modo similar ocurre con el oído, el gusto, el olfato o con mis propias vísceras que no veo. Digámoslo ya, mi cerebro interactúa con el mundo a través de mi cuerpo (representado en mi cerebro y actualizado en él constantemente). Mi cerebro dedica una inmensa parte de su tarea o funcionamiento a entenderse con el resto del cuerpo a través de miles y miles de receptores situados a todo lo largo y ancho del mismo. Mis músculos, mis hormonas y el calor de mi cuerpo son parte de los ingredientes que constituyen en mi cerebro, por ejemplo, la emoción y lo que yo finalmente experimento de modo consciente como bueno (placer) o malo (castigo).

¿Acaso mi cerebro puede funcionar sin el calor que generan mis músculos cuando corro delante de un león? ¿Cómo se podría entender la emoción que experimento ante un buen plato de comida sin el diálogo bioquímico de mi cerebro con el resto de mi cuerpo? ¿Funciona mi cerebro igual a primeras horas de la mañana que de la noche o cuando se es joven que cuando se es viejo? Jamás se podría entender cómo funciona mi cerebro sin el cóctel diario cambiante de las hormonas que le llegan generadas por las glándulas endocrinas, en la lucha, en la comida y bebida, en el acto sexual o en el cuidado de las crías.

Los cerebros se han construido inicialmente como órganos cuya función es fundamentalmente receptora de información sensorial (del cuerpo y del mundo externo) y ejecutora de actividad motora. El cuerpo así es «uno» con el cerebro en su interacción con el mundo, tanto cuando se percibe algo, sea un depredador o la comida, como cuando se actúa sobre ese algo. Fue con los primates superiores (y, desde luego, en el hombre) que el cerebro acumuló neuronas y circuitos más allá de lo puramente sensorial o motor, creando así un mundo interno que lo ha ido alejando de la percepción del propio cuerpo, llevándonos a la falsa percepción de un «yo» al que se ha «añadido un cuerpo» que está ahí y que de alguna manera es ajeno y se pone enfermo o nos molesta con sus dolores. Función esta última (el reconocimiento del propio cuerpo como parte individual del «yo») que el hombre obligadamente tendrá que retomar a la vista de las muchas enfermedades que este divorcio proporciona. ¿Cómo se ha creado esa percepción corporal en nuestro cerebro haciéndonos sentir el mundo y sus vicisitudes «sin cuerpo» de un modo tan «espiritual»? Precisamente señala Damasio (1999):

Hay una notable ausencia de una noción de cuerpo en las ciencias cognitivas y en las neurociencias. La mente permanece unida al cerebro en una, de alguna manera inequívoca, relación, y el cerebro permanece consistentemente separado

del cuerpo en vez de ser visto como una parte de un organismo vivo complejo. La noción de un organismo integrado –la idea de un conjunto hecho de cuerpo y sistema nervioso– ya estuvo en el trabajo de algunos pensadores, pero tuvo muy poco impacto en darle forma a los conceptos estándar de mente y cerebro.

Y en alguna manera así sigue.

## ¿ESTÁ EL CEREBRO ORQUESTADO MUSICALMENTE?

Ese reloj que es el cerebro humano tiene tiempos alternantes de actividad y descanso (ciclos o periodos) marcados por y heredados de la madre tierra de la que nació. Y sin duda más allá, en la convergencia de tiempos y espacios que es el origen del Universo. Y es así que el péndulo de este reloj no sólo marca y orquesta esos tiempos circadianos, de todos los días, para sí mismo y el resto de su cuerpo, sino que orquesta además infinitos otros pequeños tiempos con los que a lo largo de los meses y años organiza y recorre el arco de sus días y de su propia vida.

FRANCISCO MORA  
*El reloj de la sabiduría.*

Hace un tiempo, yo, Chuang Tzu, soñé que era una mariposa volando felizmente de acá para allá... pero de pronto me desperté y vi que era yo. Pero... ¿Soñó Chuang Tzu que era una mariposa o fue la mariposa quien soñó que era Chuang Tzu?

CHUANG TZU  
Taoísta chino, 300 años antes de Cristo.

Es claro que todos sabemos del ritmo cambiante de nuestra conducta a lo largo de las 24 horas. Estamos despiertos y activos durante el día y dormimos por la noche. Pero no somos muy conscientes de estos cambios y los significados biológicos que tienen. El no darnos mucha cuenta de ello y no ser muy conscientes de su significado es porque en realidad estos cambios forman parte de ese devenir personal y cotidiano que ocurre también con todas las cosas y las personas que vemos y convivimos todos los días. Quien, sin embargo, ha hecho un viaje a otros continentes en avión cambiando los husos horarios sí sabe lo importante que son los ritmos biológicos. Quien de pronto cambia el horario de su trabajo del día a la noche también es consciente de esos ritmos.

Muchos ritmos del organismo se rigen por el día y la noche de la Tierra (es decir, las 24 horas) y con ellos cambian muchos de sus componentes y funciones (véase figura 5). Entre ellos, aparte el ritmo vigilia-sueño que ya hemos señalado, está nuestra propia conducta, la temperatura de nuestro cuerpo, las concentraciones de hormonas, la presión arterial, los receptores de las neuronas y también el funcionamiento de los circuitos del cerebro y los transmisores que los gobiernan. Otros ritmos, sin embargo, pueden durar menos de las 24 horas, como, por ejemplo, el latido cardíaco, la frecuencia respiratoria o el ritmo del voltaje de las neuronas de nuestro cerebro, que dura menos de un segundo. O mucho más tiempo, alrededor de los 20-30 días, como es el ciclo sexual o menstrual de las hembras de muchas especies, y hasta un año, como son las migraciones o la hibernación de algunos animales. Todo ello tiene que ver con el origen de nuestro organismo, de nosotros mismos, hijos de nuestra propia tierra y esta última producto del

devenir del universo.

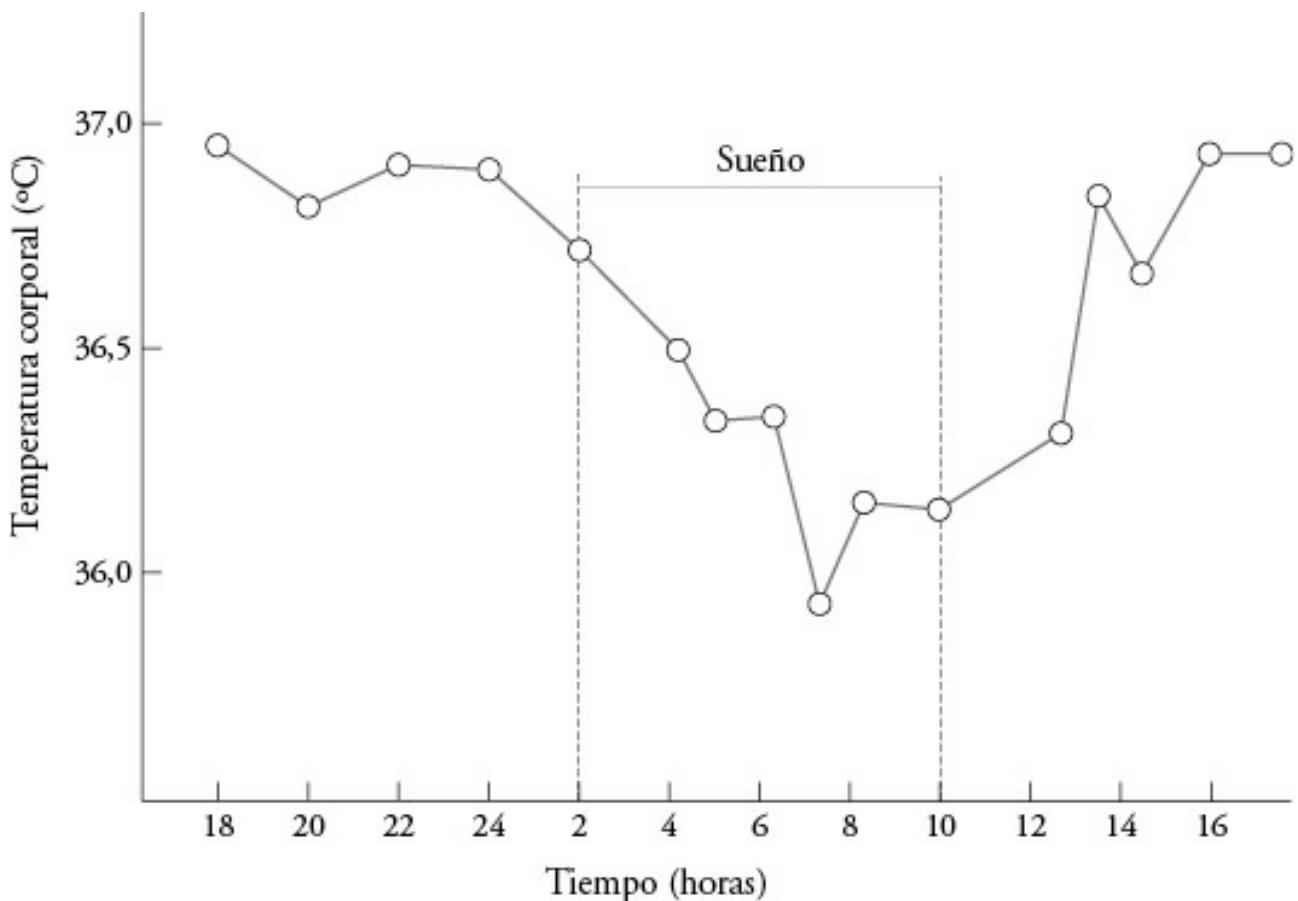


FIGURA 5. Ritmo de la temperatura corporal durante las 24 horas.

### EL PÉNDULO BIOLÓGICO

¿De dónde nacen estos ritmos? ¿Qué significado tienen? ¿Todos los seres vivos tienen un ritmo día-noche? ¿Todos los seres vivos están activos durante el día y descansan y duermen durante la noche? ¿Cómo están codificados en el cerebro? ¿Utiliza el cerebro los mismos mecanismos para poner en marcha todos estos ritmos? ¿Son dependientes unos de otros? ¿En qué medida nos ayudan a entender mejor cómo funciona el cerebro?

La Tierra gira sobre sí misma y alrededor del Sol, y ello conlleva un cambio en la intensidad de la luz solar que le llega a lo largo de las 24 horas y también a lo largo de los 365 días del año. En ese proceso, que llamamos evolución y que tiene una historia de más de tres mil millones de años, todos los organismos vivos, de los seres unicelulares y las algas a los mamíferos, se han adaptado a esos cambios de luz. Ello ha producido el desarrollo de mecanismos, tanto en los seres unicelulares como en los pluricelulares, capaces de adaptarlos a estos cambios del medio ambiente. Es curioso que la mayoría de las células de un organismo pluricelular sigue reteniendo esa memoria milenaria y con la

capacidad de oscilar en su funcionamiento. El significado biológico de estos ritmos es claro: adaptarse a las mejores condiciones que permiten la supervivencia del individuo. En realidad, los ritmos o ciclos son como un péndulo que oscila de arriba abajo o de derecha a izquierda, y es de esta forma que alternan las funciones biológicas a lo largo del tiempo. Ritmos que se suceden, como hemos visto, a diferentes escalas de tiempo, desde menos de un segundo a años. Tan importantes son estos cambios del organismo que para alertarnos de muchos de ellos, como el de las 24 horas del día, todos llevamos un reloj en la cabeza que nos marca inexorablemente sus horas.

#### UN RELOJ EN LA CABEZA

De todos estos ritmos quizá los que llamamos circadianos («circa-día», «alrededor-del-día») sean los más significativos y cercanos a nuestro devenir en el mundo. La esencia de estos cambios periódicos y que ocurren en todas las funciones de los órganos y aparatos del organismo está en el tic tac del reloj que posee nuestro cerebro y que inexorablemente marca las 24 horas. Este reloj, que es autónomo en su funcionamiento, no marca, sin embargo, un tiempo determinado y necesita de las condiciones del medio ambiente para su ajuste preciso a esas 24 horas. Ese ajuste está en las señales externas que le llegan por la luz del sol. Ese reloj parece estar localizado en una parte del cerebro, el hipotálamo, y en los circuitos específicos con los que se conecta. Es curioso cómo este sitio o núcleo del hipotálamo –el núcleo supraquiasmático– se encuentra en casi todos los mamíferos e incluso vertebrados no mamíferos, como peces, anfibios y reptiles, en un área del cerebro localizada estratégicamente para recibir información desde la retina, es decir, de la luz.

Pero ¿cómo funciona ese reloj? ¿Podemos mover sus manillas hacia atrás o hacia adelante y así adaptarlo a los cambios horarios que, por ejemplo, ocurren en otras áreas del planeta? Supongamos que en un avión regresamos de Chicago a Madrid en siete horas. La hora de salida de Chicago es la de las seis de la tarde, con lo que la llegada a Madrid sería la de la una de la madrugada para el reloj de nuestro cerebro. Sin embargo, por la rotación de la Tierra y la venida del avión en esa dirección, llegamos a Madrid a las ocho de la mañana, es decir, cuando ya el Sol está bastante alto. Nuestra llegada a Madrid, a un mundo de gentes y cosas en actividad, la hacemos con un cerebro que está en una parte del ciclo en la que nuestro reloj indica dormir. Sin embargo, nos adaptamos a esa nueva actividad como podemos. En realidad, hemos perdido una noche de sueño. ¿Cómo actúa nuestro reloj cerebral ante ese desajuste entre su tic tac autónomo y las condiciones nuevas de luz-oscuridad en el nuevo medio ambiente? Desde luego no de modo instantáneo, como lo hacemos con el reloj que llevamos en la muñeca al llegar a nuestro destino, pero sí de modo más lento. Quienes hacen ese viaje con frecuencia saben de la lenta adaptación, que por lo general dura varios días, del organismo a las nuevas condiciones de vigilia y sueño. Durante ese tiempo, el reloj cerebral, lentamente,

adapta las manillas al nuevo horario.

#### EL CEREBRO ES UNA CAJA CON MÚLTIPLES RELOJES

Pero este reloj, que funciona de este modo para marcar el ciclo vigilia-sueño, no es el mismo en su tic tac para todas las funciones del organismo. Por ejemplo, los mamíferos tienen un ritmo circadiano para la temperatura corporal que es independiente del ciclo vigilia-sueño y de otros ritmos circadianos como, por ejemplo, la presión arterial o la ingesta de agua y alimentos o la actividad motora. Algunos estudios han logrado disecar estos ritmos tan variados produciendo lesiones específicas en el cerebro capaces de abolir el ritmo circadiano para la actividad motora pero no para la temperatura. Al parecer, el cerebro tiene muchos relojes secundarios a aquel que señalamos como principal (el del núcleo supraquiasmático) y que, aun cuando conectados de alguna manera con aquél, controlan el tic tac de otras tantas funciones del organismo.

Pero ¿qué pasaría si un ser humano emigrara a un planeta en el que el ritmo de rotación (día-noche) fuera no de 24 horas sino de 28, 30 o más horas? ¿Es ese reloj cerebral central (núcleo supraquiasmático) tan plástico como para expandir el número de horas y ajustar así adecuadamente las funciones del resto del organismo a ese nuevo horario?

#### EN LAS PROFUNDIDADES DE UNA CUEVA EN KENTUCKY

Ese experimento lo hicieron Nathaniel Kleitman y Bruce Richardson, quienes en el año 1938 pasaron 32 días solos en las profundidades de una cueva en el estado de Kentucky, en Estados Unidos. Su aislamiento del mundo exterior fue completo, excepto la luz artificial, con la que crearon un ciclo luz-oscuridad artificial de 28 horas, 19 horas de vigilia y 9 horas de sueño. La idea justamente era ver si ese reloj cerebral que controla y ajusta nuestro organismo a las 24 horas del día de la Tierra era posible reajustarlo a los horarios de un extraño planeta. Para ello midieron la temperatura de su cuerpo, que fluctúa durante el día y la noche, es decir, sigue un ritmo circadiano con una diferencia de casi un grado a lo largo del día, teniendo el pico más alto al mediodía y el más bajo en las primeras horas de la mañana. Y también midieron sus movimientos durante el sueño, expresión esto último de un dormir inquieto y no conciliador y profundo.

El resultado de este experimento fue un tanto desazonador. Uno de ellos, Richardson, se adaptó perfectamente, mientras que Kleitman no pudo y tuvo un patrón de temperatura y sueño completamente desajustado a ese nuevo día de 28 horas. El cerebro y el cuerpo de Kleitman seguían ajustados al reloj externo de la cueva. Otra serie de experimentos posteriores han demostrado que ese reloj que el hombre y los demás mamíferos llevan en el cerebro no se reajusta mas allá de las 22 a las 26 horas, siendo su

ajuste a las 24 horas mediado en gran medida por las influencias que imponen las condiciones externas día-noche. Difícilmente, por tanto, podríamos cambiar a un ciclo de 28-30 horas, y mucho menos a uno de, por ejemplo, 40 horas que impusiera las condiciones de un planeta desconocido. Somos hijos de la Tierra y de su historia biológica. De hecho, los astronautas se ajustan al horario de la Tierra para todos sus quehaceres, sean éstos personales o de tareas técnicas.

## EL DIOS ALADO DEL SUEÑO

De entre todas las funciones circadianas, la de la vigilia-sueño es la más aparente. Y, desde luego, el sueño ha sido siempre ese misterioso abismo al que inexorablemente nos asomamos y en el que quedamos atrapados todos los días.

Decían los griegos que el sueño nos viene a los mortales gracias al dios Hypnos, hijo de Nyx, diosa de la noche, que nos lo trae y nos protege mientras descansamos durante un tiempo cada jornada. De hecho, un largo tiempo, ya que el hombre duerme casi una tercera parte de sus 24 horas, es decir, unas ocho horas por noche. ¿Cómo ha venido a ocurrir esto? ¿Qué es el sueño? ¿Por qué es necesario dormir? ¿Qué funciones cumple el sueño? ¿Cómo ocurre esto en el cerebro? ¿Es el sueño un proceso uniforme a lo largo de toda la noche? ¿Qué nos dicen las neurociencias hoy de lo que es el sueño?

No hay todavía una contestación clara y satisfactoria a todas estas preguntas. Una cosa sí parece absolutamente clara, el hecho de que dediquemos tanto tiempo al sueño indica que la naturaleza ha puesto en ello algo biológicamente profundo e importante. Nada en la evolución biológica se ha mantenido y se le dedica tanto tiempo a menos que sea realmente importante para la supervivencia del individuo. Pero ¿qué es ello? No sabemos por qué es necesario dormir, pero sí tenemos claro que es absolutamente imprescindible. Alguien al que se le priva de sueño o duerme menos de lo que su cuerpo requiere, por diversas causas, claramente muestra síntomas de fatiga, poca capacidad de raciocinio, cierta incapacidad en la toma correcta de decisiones y un estado pobre de alerta que le hace propenso a los accidentes. Junto a ello, un individuo privado totalmente de sueño durante más de cinco días presenta anomalías de la conducta hasta llegar a tener trastornos mentales y en algunos casos desarrollar psicosis con alucinaciones y una conducta paranoide.

Estudios en ratas han mostrado que la privación total de sueño durante más de dos semanas conduce a la muerte por una alteración del control de su metabolismo, lo que les lleva a una constante pérdida de peso y a no poder mantener el control de la temperatura corporal. Pero, en realidad, al menos en lo que se ha podido comprobar en humanos, hay «escapatorias» que utiliza el cerebro ante la falta de sueño. Así, la gente que no duerme lo suficiente tiene estados de «microsueño» que son episodios que duran unos cuantos segundos y en los cuales el individuo duerme y pierde el contacto total con la realidad. Durante estos episodios, los individuos no ven ni oyen y además son

absolutamente inconscientes de cuanto ocurre a su alrededor y no guardan memoria de estos episodios.

Pero seguimos sin saber propiamente para qué sirve el sueño, qué funciones cumple. Son varias hipótesis las que han sido formuladas. Las más consistentes hoy son las siguientes: conservación y restauración de los depósitos de energía del organismo, la termorregulación cerebral, la desintoxicación del cerebro, procesos de «restauración» de los tejidos corporales, la plasticidad cerebral durante la ontogenia y también, como veremos más adelante, la consolidación de los procesos de aprendizaje y memoria.

### ¿PERO... QUÉ ES PROPIAMENTE EL SUEÑO?

Lo que los griegos no sabían es que el dios Hypnos ha ido cambiando sus estrategias a lo largo de casi mil millones de años de evolución, un largo tiempo para experimentar y jugar con la vida de los mortales. El mundo del sueño es casi tan vario como especies tiene la naturaleza. ¿Por qué un caballo sólo duerme tres horas al día? ¿Por qué, sin embargo, un gato duerme más de 12 horas y los murciélagos, o cierto tipo de hámsters, duermen entre 17 y 20 horas? ¿Por qué las ratas duermen durante el día y están despiertas y activas durante la noche? ¿Por qué el caballo, la jirafa o los elefantes pueden dormir de pie? ¿Por qué los delfines están siempre despiertos a base de dejar dormir sólo un hemisferio cerebral u otro alternativamente? ¿Por qué las moscas no duermen? En general, se ha visto una buena correlación negativa entre el tiempo total que duerme un animal y el peso de su cuerpo, es decir, animales que pesan mucho duermen poco, como, por ejemplo, el elefante.

¿Pero de qué estamos propiamente hablando cuando lo hacemos del sueño? ¿Qué ocurre en el cerebro de los seres humanos cuando duermen? ¿Es el sueño un estado único y constante a lo largo de las ocho horas de sueño? ¿Cambia nuestra actividad cerebral durante el sueño de aquella otra que tenemos cuando estamos despiertos? Desde luego, el mundo del sueño, que ha fascinado al ser humano desde siempre, sólo ha dejado en parte de ser un misterio en la segunda mitad del pasado siglo XX, con el descubrimiento de la electroencefalografía (el registro de la actividad eléctrica de la superficie de la corteza cerebral) y, desde luego, con el descubrimiento de que dentro del sueño hay varios tipos o estadios.

Efectivamente, el ser humano pasa por cinco periodos de sueño, cada uno con sus diferentes características de ondas cerebrales. Cuatro de estos cinco periodos tienen un patrón de actividad electroencefalográfica similar, que en conjunto se conocen como sueño sincronizado o de ondas lentas. En esos cuatro periodos se pasa de una somnolencia inicial (primer periodo) a un sueño superficial (segundo periodo) y después más profundo (tercer periodo) hasta caer en un sueño verdaderamente profundo (cuarto periodo). Conforme pasa de una somnolencia inicial al sueño más profundo, el sujeto, ante un estímulo determinado, tarda más en despertar. Es durante este cuarto periodo de

sueño más profundo cuando ocurre algo que es verdaderamente extraordinario: el sujeto pasa de un registro electroencefalográfico de sueño lento a un registro de vigilia. Si en este último momento se hubiera de juzgar el estado del individuo por su registro electroencefalográfico, se diría que está despierto. Pero si en ese momento entramos en la habitación del sujeto, éste no sólo no está despierto sino que está durmiendo y, además, si tratamos de despertarlo se encuentra en un sueño todavía más profundo que aquel que llamamos sueño profundo o cuarto periodo del sueño lento, lo cual no deja de ser paradójico (de ahí el nombre que toma este tipo de sueño: sueño paradójico). Es la quinta fase del sueño. Durante este último periodo de sueño, el sujeto mueve constantemente los ojos. Y quizás lo más sorprendente: si en ese periodo lo despertamos, lo más probable es que nos diga que estaba soñando. Precisamente este tipo especial de sueño que aparece dentro del propio sueño se conoce como sueño REM (*Rapid Eye Movement*) o de movimiento de los ojos, o sueño desincronizado o de las ensoñaciones, o también sueño paradójico, como ya hemos indicado.

El sueño de ondas lentas (sueño NO-REM) y el sueño paradójico (sueño REM) alternan varias veces durante la noche. Estos ciclos se suceden cada 90 minutos aproximadamente, es decir, que durante el periodo de sueño total hay unos 7-8 ciclos de sueño diferente. Pero este dormir, tal cual lo hemos descrito, ¿es un estado que poseen todos los animales?

## EL SUEÑO DEL ESCORPIÓN

A lo largo de la evolución, el sueño ha ido emergiendo de una forma lenta y paulatina con el desarrollo de otras muchas y diversas funciones del sistema nervioso. Todos los seres vivos tienen periodos de descanso y actividad en las 24 horas del día, pero no periodos de sueño propiamente dicho. Los criterios fundamentales para poder hablar de sueño los determinan los cambios eléctricos que se registran en la actividad de la corteza cerebral. Es por ello que los invertebrados, como el escorpión, carentes de cerebro (aun cuando sí poseen ganglios o acúmulos neuronales), no han revelado una actividad neuronal conjunta que permita en ellos hablar de sueño. Bien es cierto que los criterios más estrictos que justifican un estado de sueño no son sólo los determinantes electroencefalográficos, aun cuando éstos sean los fundamentales, sino que a ellos hay que añadir parámetros como son los de la conducta del animal. Estos parámetros o criterios conductuales adicionales incluyen el sitio o lugar específico donde se duerme, la postura corporal típica, la inactividad física, un umbral alto de despertar, reversibilidad rápida de ese estado de quietud y capacidad regulatoria, es decir, tras privación de sueño, el sujeto duerme más y recupera el sueño perdido.

Es interesante que en muchos invertebrados, como el caracol marino *aplysia*, el escorpión ya mencionado, la cucaracha, el pulpo y otros tantos invertebrados, se han descrito episodios con algunas de estas características a lo largo de las 24 horas. En

concreto, estudios en la mosca han mostrado que este animal, aun cuando carente de actividad neuronal que se asemeje al sueño, sí posee algunas de estas características conductuales y desde luego no hay en este insecto un completo descanso o quietud, sino una menor actividad, lo que le permite estar siempre conectada a la realidad sensorial circundante.

### LOS COCODRILOS DUERMEN PERO NO SUEÑAN

Con la aparición del cerebro en los vertebrados, surge también el sueño propiamente dicho. Esto es, junto a los períodos conductuales de quietud e inactividad, aparecen ya cambios en la actividad eléctrica del cerebro que reflejan estados de sueño. Y es así que en peces, anfibios y particularmente en reptiles, junto con los períodos de quietud, se manifiestan ya cambios electroencefalográficos que pasan de un registro irregular de ondas rápidas y bajo voltaje, típico de la vigilia, a un registro de ondas lentas de alto voltaje, típico del sueño lento o superficial. Los reptiles, en general, parecen carecer del sueño denominado REM, el sueño de los ensueños, el sueño que aparece en los mamíferos.

### EL REGALO DE MORFEO

Hypnos, tal vez cansado del aburrido, gris y largo descanso de los seres vivos durante las largas noches de tantos millones de años, mandó a su hijo Morfeo para colorear y enriquecer ese periodo de quiescencia con los ensueños. Y es así como ese largo tiempo, en el que los mamíferos se sumergen en ese mundo de oscuridad e inconsciencia (sueño superficial), se hizo más dulce. Surgió entonces un tipo de sueño nuevo dentro del sueño. Apareció el sueño REM, aun cuando esto no ocurrió de pronto. Con el paso de los reptiles a los mamíferos, hace unos 180 millones de años, algo realmente sorprendente e impredecible sucedió durante un tiempo que se puede estimar alrededor de los 20-50 millones de años. El pequeño mamífero, en la profundidad de los bosques, adquirió, entre otras muchas cosas, la capacidad de regular la temperatura de su propio cuerpo y mantenerla así constante e independiente de las fluctuaciones de la temperatura del medio ambiente. También adquirió un cerebro más grande que el de los reptiles. Y, por último, ese cerebro vino equipado con el fenómeno del sueño completo. ¿En qué medida un cerebro más grande trajo consigo la temperatura cerebral constante y el sueño? ¿O fue, quizás, que la aparición primero del control de la temperatura corporal y el sueño trajeron después la adquisición de un cerebro más grande?

Desde 1950 sabemos que este tipo de sueño, el sueño REM, se acompaña de ensueños largos y de rico contenido temático, como refiere gente a la que se la despierta en medio de un registro electroencefalográfico típico de este tipo de sueño REM. No

quiere ello decir que con el sueño NO-REM no haya ensueños, que también los hay, pero estos últimos parecen ser más cortos y menos ricos en acontecimientos.

En este caso, también como su padre, Hypnos, Morfeo tuvo tiempo, en esos 180 millones de años que han transcurrido desde entonces, de jugar y diversificar la duración del sueño REM en la inmensa variedad de mamíferos que luego aparecieron. Así, desde el hombre, que viene a soñar unas dos horas cada noche (730 horas al año), hasta el delfín, que no sueña, hay un amplio espectro en la duración de este tipo de sueño. En general se ha querido ver una buena correlación entre el tiempo total que un animal dedica a dormir y la duración del sueño REM. Animales que duermen poco tiempo tienen poco sueño REM. Y animales como el murciélagos, el armadillo, los hurones y otros, que duermen entre 14 y 20 horas, tienen más de tres horas de sueño REM. Frente a ellos, otros animales, como el conejo de indias, la oveja, el caballo o la jirafa, que duermen un total de 3-4 horas, apenas si tienen media hora de sueño REM.

Otra buena correlación se ha encontrado entre la cantidad de sueño REM y la maduración del cerebro con que se nace. Animales que nacen bastante inmaduros para desenvolverse en el mundo, como es el clásico ejemplo del hombre, dedican grandes cantidades de tiempo al sueño REM, y aun cuando es cierto que este tiempo disminuye de modo considerable cuando se hacen adultos, no es menos cierto que el hombre sigue dedicando más tiempo al sueño REM que otras especies de peso aproximado que nacen más maduros. Un tercer factor que correlaciona bien con el tiempo de duración total del sueño REM es la seguridad de los refugios en que cada animal duerme. Así, en general, depredadores y animales con refugios seguros tienen grandes cantidades de sueño REM, como los leones o los tigres o, incluso, el gato doméstico. Sin embargo, animales que son presas de caza y mal cobijo durante el sueño tienen muy poco sueño REM y también muy poco tiempo de sueño total, por ejemplo, las gacelas, la vaca y otros animales de pastoreo.

### ¿QUÉ NOS DICEN LOS ENSUEÑOS?

Desde Babilonia, Egipto y China tenemos registros que datan de miles de años antes de Cristo y hablan de los ensueños como espíritus que nos vienen de los muertos o mensajes que nos mandan los dioses. La verdad es que los ensueños siempre han fascinado a los seres humanos. Pero ¿qué nos dicen hoy las neurociencias sobre los ensueños? ¿Tienen éstos algún significado? El problema central para un acercamiento científico a los ensueños es que no pueden estudiarse mientras se producen, sino que sólo se pueden estudiar tras ser contados «a posteriori» por el sujeto que sueña. Y es de esta manera que los ensueños per se son floreados, elaborados y desvirtuados, pues es muy probable que el que sueña, al poner los ensueños en palabras, los reinterprete y consecuentemente tienda a darles un sentido que en origen pudieron no tener.

De lo que empezamos a darnos cuenta hoy, desde las ciencias del cerebro, es de que

los ensueños no se pueden interpretar en el sentido de lo que Freud quiso significar en 1900 en su libro *La interpretación de los sueños*. Hobson (1999) indica:

Los científicos actuales se resisten a la interpretación freudiana de los ensueños. Para nosotros, los ensueños son simplemente la conciencia subjetiva de un producto de la activación espontánea del cerebro durante el sueño. [...] En donde los neurocientíficos y psicólogos freudianos estamos en desacuerdo es sobre la idea de que las imágenes de los sueños son necesariamente símbolos que disfrazan algún significado escondido o enterrado y que los símbolos de esos sueños tienen significados que son universales. Nosotros los neurocientíficos sostengamos que los sueños no son, como a Freud le gustaría, un esfuerzo para disfrazar los impulsos sexuales, porque los sueños muy rara vez hacen un buen trabajo en disfrazar esos impulsos. Ello no quiere decir, sin embargo, que los ensueños no revelen aspectos interesantes de la psique.

Independientemente de todas estas consideraciones, sin embargo, parece claro que durante los ensueños podemos volar, sentirnos fuertes, oír y ver lo que no es audible o visible en la realidad, tener emociones fuertes que atan y achican nuestra poderosa racionalidad del día y podemos así pasar de ser villanos a héroes y de enanos a gigantes. Como también señala Hobson (1999), «soñar en sí mismo no es patológico, pero es un tipo de estado psicótico normal que nos afecta a todos cada noche».

Por de pronto, el análisis de las principales características de los sueños ya muestra la existencia clara de un fuerte componente emocional en los mismos. Estudios recientes muestran que la emoción que con más frecuencia se siente durante los ensueños es la ansiedad, seguida de la alegría y la euforia y, después, de la cólera o la ira. Junto a ello destacan en igual medida la pérdida del raciocinio y la memoria. Finalmente, otra característica de los ensueños es que a pesar de que pueden ocupar una hora y media o dos horas todos los días, apenas si recordamos algo al despertar, y cuando lo hacemos es un registro de apenas unos minutos y, desde luego, el hilo racional de los acontecimientos se ha perdido.

Con estos datos podríamos preguntarnos ¿qué áreas del cerebro y qué mecanismos están activados para dar lugar a estas características de los ensueños? ¿Qué relación tienen la vívida emocionalidad y percepción en los sueños con las de la vigilia? Y en tal caso, ¿qué relación hay entre las estructuras del cerebro que se activan durante la vigilia y aquellas otras que lo hacen durante los ensueños? ¿Podemos hoy, en términos neuronales, responder a algunas de estas preguntas?

¿Qué diferencia a nuestros ensueños irracionales de nuestra vida racional de todos los días cuando estamos despiertos? Por de pronto sabemos que durante el sueño que llamamos de ondas lentas la corteza cerebral está mayoritariamente inactivada, no así durante el periodo REM o de las ensoñaciones. En este último periodo del sueño (sueño REM), algunas partes de la corteza cerebral, como la corteza cingulada anterior, la

corteza prefrontal orbitaria y el núcleo central de la amígdala, se reactivan a niveles iguales o superiores a los que existen durante el periodo de vigilia. Es más, tanto la amígdala como la corteza prefrontal orbital medial forman parte de las estructuras o circuitos corticales que controlan o regulan las emociones. En contraste con esto último, algunas otras partes de la corteza prefrontal, aquellas responsables tanto de la memoria a corto plazo como de la atención, la planificación de nuestro día a día en el mundo, la coherencia con nuestras decisiones racionales, y el *locus coeruleus*, que bañan del neurotransmisor noradrenalina toda la corteza cerebral, se encuentran silentes en el sueño REM. Todo esto nos da idea acerca de los sustratos neurobiológicos que se suceden durante esta etapa del sueño y justifican la alta prevalencia de los componentes emocionales de las ensoñaciones y la supresión de las funciones de la atención, la incoherencia temporal y espacial de los acontecimientos y el consecuente componente irracional y caótico que tienen los ensueños. Es más, durante el sueño REM parece existir una inhibición de la salida coordinada de información del hipocampo (que no de su actividad intrínseca), lo que impediría que las memorias de lugares y sucesos se integraran con precisión en los ensueños.

Pero, aun con todo, ¿qué mantiene esa actividad que aun cuando caótica e irracional nos permite ser conscientes de ella en nuestros ensueños? Durante el sueño REM, pero no durante el sueño NO-REM, se ha podido ver, utilizando las técnicas de magnetoencefalografía, que el cerebro tiene una actividad tálamo-cortical (40 ciclos) muy similar a aquella que tiene el cerebro despierto. A esta actividad córtico-talámica se le atribuyen los sustratos neurobiológicos de la conciencia. Sin embargo, las entradas sensoriales en el estado de sueño REM no se perciben, es decir, el cerebro no responde a ningún estímulo sensorial del mundo externo. Ello indica que durante el sueño REM y las ensoñaciones el cerebro elabora su propio mundo como actividad intrínseca sin el mundo de las sensaciones. Llinás (2001) lo expresa así:

Estos hallazgos podemos interpretarlos como indicativos de que las entradas sensoriales durante el sueño REM no se correlacionan temporalmente con la actividad tálamo-cortical funcionante (es decir, no entra en el contexto de la «Realidad» tálamo-cortical) y, por tanto, no existen como un proceso con significado funcional.

Podríamos pensar que los ensueños son una «realidad» interna del cerebro producida por la actividad de algunos circuitos distribuidos (que codifican fundamentalmente para las emociones, como la amígdala y la corteza prefrontal orbitaria) y la inactivación de otros (como aquellos de la corteza prefrontal que dan coherencia y racionalidad) hecha consciente por la actividad, a su vez, de circuitos tálamo-corticales (actividad de 40 ciclos). De todo ello se desprende que los ensueños aparecerían no sólo como algo impredecible, caótico, irracional y estafalario, sino bañados igualmente de un gran colorido emocional. Señala Hobson (1999):

Nosotros hipotetizamos que estas características de los sueños reflejan un intento por parte del cerebro de identificar y evaluar las asociaciones corticales nuevas (con la activación en unas y ausencia de actividad en otras) a la luz de las emociones mediadas por las estructuras límbicas durante el sueño REM.

### ¿CANTAN LOS PÁJAROS MIENTRAS DUERMEN?

Una de las teorías más actuales acerca de una posible función del sueño REM (no desde luego la única) sería la activación cerebral a diferentes niveles neurales para reprocesar lo aprendido y consolidar lo que se comenzó a memorizar durante el día. Por consolidación de un proceso de memoria debemos entender aquel proceso durante el cual las huellas iniciales de memoria establecidas pueden ser reactivadas y analizadas y gradualmente incorporadas en memoria a largo plazo (permanente). Ello presupone que las huellas iniciales de memoria dejadas por el aprendizaje se encuentran en el cerebro en un estado frágil hasta que ha ocurrido un periodo de sueño inmediatamente posterior a este proceso. Hay una serie de experimentos que son consistentes con estas ideas aun cuando de momento no haya una prueba definitiva y confirmatoria de esta hipótesis. En cualquier caso, de ser todo esto así, debería ser posible, con las nuevas tecnologías de la neurociencia, detectar en el cerebro dormido patrones de actividad durante el sueño que, de alguna manera, fueran parecidos a la información procesada mientras el individuo aprendió. Algunos trabajos científicos muestran que éste parece ser el caso. Y efectivamente en áreas importantes para la memoria como el hipocampo, y en concreto en una de sus áreas, la CA1, se pudieron registrar patrones de actividad neuronal durante el sueño parecidos a los que se registraron cuando el individuo realizó durante el día una tarea de aprendizaje. Esta reactivación de la actividad de los circuitos del hipocampo durante el sueño ha sido observada tanto durante el periodo de sueño lento como durante el sueño REM.

Pero quizá la relación más clara entre sueño y aprendizaje se ha visto en el cerebro de pájaros cantores. Registros de la actividad eléctrica de una sola neurona (patrón de potenciales de acción) en pájaros cantores sugieren que ciertas áreas cerebrales que son importantes para el aprendizaje de las canciones muestran durante el sueño un patrón de actividad muy estrechamente parecido a aquel que se registra cuando el pájaro aprende y canta cuando está despierto. Algo así como si el pájaro durante el sueño estuviese repitiendo y entrenando aquella canción. Esto nos lleva a la idea actual más aceptada de que durante el sueño el cerebro trabaja para cimentar, construir en maquinaria (bioquímica y anatomía) y función (fisiología) cerebral aquello que se aprendió durante el día y que es importante para el individuo. Todos estos datos sugieren que el sueño tiene importantes funciones en la consolidación de la memoria.

Que estas ideas parecen ser ciertas lo avalan otras evidencias indirectas, como aquellas en las que tras aprender el individuo una determinada tarea se le priva de sueño

y se comprueba que a la mañana siguiente apenas ha retenido en su memoria nada de lo aprendido. Tal cosa no ocurre, sin embargo, si tras el aprendizaje al individuo se le permite dormir normalmente. Estudios recientes, además, han mostrado que cierto tipo de aprendizaje, muy concreto, requiere de modo casi absoluto del sueño en las siguientes 30 horas del test para que el sujeto memorice bien y, por tanto, haya una verdadera mejora en lo aprendido.

Apenas si hay hoy controversia acerca de si el sueño es importante para consolidar la memoria. La controversia, sin embargo, se mantiene con respecto a si es el sueño de ondas lentas, el sueño REM, o ambos tipos de sueño a la vez los que participan en este proceso. Muchos datos avalan y favorecen la idea de que es el sueño REM el verdaderamente importante en estos procesos. Pero ¿realmente esto es así? ¿Sirve de verdad el sueño REM para consolidar la memoria?

### EL HOMBRE SIN SUEÑO REM

Y. H. fue un joven veterano de guerra judío que debido a sus lesiones cerebrales (seguía teniendo un trozo de metralla alojada en su cerebro) vivía confinado en una silla de ruedas. Al parecer, Y. H. no dormía bien. Y fue por esto por lo que acudió al médico, porque sufría de despertares abruptos en medio de la noche, acompañados de un sentimiento de pánico y ansiedad.

Y. H. fue internado unos días en una clínica de sueño para estudiar su problema. En este tipo de clínicas, el sujeto duerme toda la noche en una habitación aislada con unos electrodos en su cabeza para el registro de las ondas cerebrales. Los cables de estos electrodos se conectan a una máquina de registro que se encuentra en otra habitación, con lo cual no se disturba al paciente durante el sueño. La máquina indica claramente, por las características de los registros electroencefalográficos, los períodos del sueño en los que se encuentra el sujeto. Para sorpresa de los médicos, el registro de la actividad cerebral de Y. H., durante varias noches seguidas, mostró claramente la ausencia de sueño REM. Lo extraño del caso, además, es que Y. H. manifestó a los médicos que había dormido normal y bien.

Lo curioso es que si efectivamente, como se había publicado hasta entonces (Crick y Mitchinson, 1983), el sueño REM era fundamental para la consolidación de la memoria, Y. H. debiera tener serios problemas para recordar cosas, lo cual no era en absoluto el caso, dado que éste seguía teniendo una excelente memoria y tras el accidente no sólo fue capaz de estudiar, sino que terminó de modo exitoso su carrera de Derecho y se convirtió en un excelente abogado. También fue editor de la sección de puzzles de pensamiento y lógica de un periódico sin que nunca se le notaran déficits de pensamiento y memoria. Estudios electroencefalográficos más recientes han seguido demostrando que Y. H. carece de sueño REM y que su única aparente anomalía siguen siendo los terrores nocturnos con sus despertares abruptos acompañados de fuertes gritos y gran ansiedad.

El caso del paciente Y. H. presenta una clara controversia acerca de si el sueño REM realmente desempeña algún papel en la consolidación del aprendizaje y la memoria. Es más, hoy es bien sabido que millones de personas en el mundo no tienen sueño REM ni ensueños durante meses e incluso años (como se ha podido comprobar por la ausencia en ellos de los registros electroencefalográficos característicos de este tipo de sueño o la falta de tono muscular o el movimiento rápido de los ojos). Son las personas tratadas farmacológicamente con inhibidores de una enzima, la MAO, por un cuadro de depresión. En estas personas no se ha puesto de manifiesto ningún déficit de memoria a lo largo del periodo de tratamiento. Por el contrario, hay trabajos científicos que muestran que el tratamiento crónico con estos fármacos incluso parece producir una mejora de la memoria.

¿En qué queda, pues, la función del sueño REM? Si es posible que haya personas que aprendan, memoricen y se comporten intelectualmente de una forma normal e incluso brillante, ¿puede todavía mantenerse que éste, el sueño REM, el sueño de las ensoñaciones, es absolutamente esencial para la consolidación de la memoria? Y si no es así, ¿qué otro papel puede desempeñar este tipo de sueño? ¿Puede de modo excepcional la naturaleza haber guardado una función que fue útil en un momento de la evolución pero que ya no lo es y quedar como un residuo inútil en nuestro cerebro? Yo en absoluto lo creo, por la simple razón de que la naturaleza ha desecharo siempre aquello que ya nunca más le ha servido. Creo, por el contrario, que el sueño de tipo REM guarda una función, y posiblemente siga siendo la de la consolidación de la memoria. Y que, como vimos con los ratones transgénicos, en los que, ante la ausencia de un gen vital para un ratón, éste puede desarrollar su vida a través de la expresión de otros genes y mecanismos, igualmente el cerebro de un individuo sin sueño REM puede encontrar los vericuetos que suplan tal función en el otro tipo de sueño lento.

#### DEL ARTE A LA CIENCIA O LOS ENSUEÑOS CREADORES DE TARTINI, LOEWI Y KEKULE

Con todo, sin embargo, los ensueños han guardado un poder misterioso para la vida del ser humano y a mi parecer lo siguen guardando. ¿Acaso muchos ensueños no han servido de inspiración y hasta de intuiciones poderosas capaces de llevarlas a la realidad como si de un pensamiento consciente durante la vigilia se tratara?

Se dice que Giuseppe Tartini (1692-1770), durante un viaje por Asís en 1713, tuvo un sueño que contó de la siguiente manera:

Una noche, en 1713, soñé que había hecho un pacto con el diablo y estaba a mis órdenes. Todo me salía maravillosamente bien; todos mis deseos eran anticipados y satisfechos con creces por mi nuevo sirviente. Ocurrió que, en un momento dado, le di mi violín y le desafié a que tocara para mí alguna pieza romántica. Mi asombro fue enorme cuando lo escuché tocar, con gran bravura e inteligencia,

una sonata tan singular y romántica como nunca antes había oído. Tal fue mi maravilla, éxtasis y deleite que quedé pasmado y una violenta emoción me despertó. Inmediatamente tomé mi violín deseando recordar al menos una parte de lo que recién había escuchado, pero fue en vano. La sonata que compuse entonces es, de lejos, la mejor que he escrito, pero resultó tan inferior a lo que había oido en el sueño que me hubiera gustado romper mi violín en pedazos y abandonar la música para siempre.

Es la sonata *El trino del diablo*. Posiblemente, Tartini nunca escuchó en su sueño ninguna sonata maravillosa inspirada y tocada al violín por ningún diablo. Simplemente se durmió con la tensión de unos momentos o días de inspiración y composición. Su cerebro, su hipocampo, repitió e hiló trozos, algunos desatinados, de su propia música, y sólo un fuerte componente emocional le hizo sentir la maravilla que le despertó. Pero fue suficiente para llevarle a componer un hermoso trozo de música que dejó para todos y para siempre. Esto nos lleva a que los sueños no son premonitorios de nada ni creadores de nada, pero sí inspiratorios. En cerebros privilegiados, y mientras se procesa la información que el individuo ha estado aprendiendo durante el día previo al sueño, un fuerte componente emocional, lleno por otra parte de significado (música para un compositor o ideas de experimentos para un investigador), le puede despertar, y en el fragor de esa tormenta sentimental llevarle a concebir, a poner en razón, en conciencia «real», lo que durante el sueño ha navegado de forma incoherente por el cerebro.

Sólo de esta manera se conciben, a la luz de los conocimientos actuales, los ensueños que han dado lugar a cambios importantes en las ideas científicas de nuestro tiempo. Es en este sentido que el sueño y los ensueños se pueden tornar en un proceso creador al permitir la continuidad durante el sueño de un proceso de pensamiento que «no encaja» en la vigilia y que, sin embargo, durante el sueño se deshilacha, se fragmenta y navega incoherentemente en la «mente» de los ensueños, uniéndose a veces estos fragmentos de forma azarosa. La fuerte emocionalidad que los ensueños imprimen al sujeto puede hacerle despertar ante la unión de fragmentos que de pronto cobran sentido. El sueño así es, en cierta medida, una continuación de la vigilia. Un sueño que como tal se da en muchos sujetos despiertos, a la luz del día, con el «¡eureka!», la idea que, de pronto, inconscientemente, sin pensar en ella, viene a la mente consciente. Sólo así se entienden los «ensueños» creadores.

Cuenta Otto Loewi, premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1936 (Loewi, 1921):

La noche antes del Domingo de Pascua me desperté, encendí la luz y garabateé unas notas en un pequeño trozo de papel. Y luego me dormí de nuevo. Me pareció, cuando me levanté a las seis de la mañana del día siguiente, que durante la noche escribí algo importante, pero fui incapaz de descifrar los garabatos que había escrito. A la noche siguiente, a las tres de la madrugada, volvió la misma idea. Fue el diseño de un experimento para determinar si la hipótesis de la

transmisión química que yo pronuncié hacía 17 años era correcta o no. Me levanté inmediatamente, fui al laboratorio e hice el experimento.

Tras aquello, y en unas declaraciones personales, manifestó:

Si hubiese considerado todo aquello a la fría luz de la mañana no lo hubiera hecho. Después de todo era una suposición bastante improbable que el vago liberara una sustancia inhibidora. Aún era todavía más improbable que una sustancia química de la que se suponía ser efectiva en un estrecho espacio entre la terminación y el músculo fuera secretada en cantidades tan grandes que se desparramara y tras diluirse en el líquido de percusión fuera todavía capaz de inhibir otro corazón.

Otro sueño creador fue el de Kekule. Friedrich August Kekule tuvo un sueño en el que serpientes se enroscaban mordiéndose la cola. Se cuenta que Kekule relató su sueño, muchos años después de que éste ocurriera, en un discurso en una cena conmemorativa de su descubrimiento del anillo bencénico:

Di la vuelta a mi silla hacia el fuego (después de haber trabajado sobre el problema durante algún tiempo) y eché un sueño. Durante ese sueño otra vez los átomos daban vueltas frente a mis ojos. Esta vez los grupos pequeños se quedaron muy modestamente al fondo. Mi ojo mental, cansado por estas visiones, no pudo distinguir estructuras grandes de conformaciones complejas. Largas líneas, algunas veces muy conjuntadas; todas ellas pareadas y girando enroscadas como si fueran serpientes. ¡Pero, mira! ¿Qué fue eso? Una de las serpientes había mordido su propia cola y tal forma daba vueltas constantemente ante mis ojos. Como si fuera por el acto de un flash de luz desperté. [...] ¡Aprendamos a soñar, señores!

### ¿POR QUÉ ESTÁN SIEMPRE DESPIERTOS LOS DELFINES?

Una pregunta relevante ahora es ésta: ¿es universal el fenómeno del sueño entre los mamíferos? Y si es así, ¿por qué están siempre despiertos los delfines? Algunos delfines (y también alguna ballena y la vaca marina) están siempre despiertos y nadando. ¿Acaso nunca duermen? Sí duermen, es la contestación a esta pregunta, pero con una característica que los hace únicos en la naturaleza. Y ésta es que mientras mantienen despierto su hemicerebro derecho ponen a dormir el izquierdo y al revés. De modo que siempre están despiertos y vigilantes debido a que mantienen despierto alternativamente su cerebro derecho o su cerebro izquierdo. El delfín pasa el 43% de su tiempo con todo su cerebro despierto. Y el resto del tiempo alterna la actividad de ambos hemisferios, poniendo a dormir seis horas cada uno de ellos de modo sucesivo. Los registros

electroencefalográficos han mostrado claramente que mientras un hemicerebro tiene un registro de vigilia (con alguna diferencia en los niveles de esos registros), el otro tiene claramente un registro de sueño NO-REM.

El delfín, sometido a un periodo de deprivación de sueño en ambos hemicerebros durante 60 horas, muestra, durante el periodo de recuperación, un sueño rebote con una alternancia de sueño en ambos hemisferios bastante precisa. Si la deprivación de sueño se realiza en uno solo de los hemisferios, siempre resulta en una compensación de sueño de ese mismo hemisferio y no del contrario. No se sabe bien qué ha llevado a los delfines a lo largo de la evolución a adquirir esta capacidad. Una explicación posible es que estos animales sólo pueden respirar sobre la superficie del agua y para ello necesitan estar nadando. En cualquier caso, estos hallazgos nos demuestran claramente que un mamífero, en este caso el delfín (con un cerebro con relación al peso de su cuerpo tan grande como el del hombre), no necesita de quietud, ni de falta de luz, ni pone a dormir todo el cerebro. Otra de las características del sueño de los delfines es que nunca entran propiamente en sueño REM.

#### ¿SIRVE EL SUEÑO PARA ENFRIAR EL CEREBRO?

Entre los ciclos circadianos vigilia-sueño y aquellos de la temperatura hay una estrecha relación, aun cuando igualmente una clara independencia. Lo que parece claro es que la regulación autónoma de la temperatura corporal y el sueño debieron aparecer aproximadamente en el mismo periodo evolutivo, aquel de la aparición de los mamíferos. Una serie de experimentos ha sugerido la posibilidad de que precisamente una de las funciones del sueño, del sueño de ondas lentas, sea la de enfriar el cerebro. Efectivamente, durante el sueño NO-REM el enfriamiento del cerebro se produce por un descenso de su actividad metabólica y en consecuencia de su temperatura. Son interesantes a este respecto las observaciones hechas en los delfines, en los que la alternancia del sueño de uno a otro hemisferio cerebral se sigue de un enfriamiento del correspondiente cerebro dormido pero no del hemisferio que permanece despierto. Hay otras observaciones añadidas que hacen muy interesante este fenómeno del enfriamiento del cerebro por el sueño. Por ejemplo, si un individuo hace ejercicio físico durante un periodo del día, aumentando, por tanto, la temperatura de su cuerpo y su cerebro durante ese periodo, al llegar la noche y entrar en sueño lento la temperatura cerebral desciende acorde y proporcionalmente a aquel aumento de la temperatura realizado por el ejercicio físico, como compensando aquel calentamiento. Y lo más interesante es que el descenso de la temperatura del cerebro no ocurre de modo inmediato tras el ejercicio físico, sino que se produce propiamente durante el periodo de sueño, como integrado en esos otros ciclos circadianos.

Muchas otras observaciones avalan la hipótesis de este enfriamiento del cerebro producido por el sueño. Por ejemplo, el aumento de la temperatura corporal durante el

día, bien por el ejercicio físico o sumergiendo al individuo en un baño caliente durante una hora y media, se correlaciona significativamente con un aumento del periodo de sueño de ondas lentas. Esta correlación tiene su asiento en áreas del cerebro límbico como el área preóptica-hipotálamo anterior que al parecer comparten circuitos para ambos ritmos circadianos. Por ejemplo, el estímulo eléctrico de esta área del cerebro produce simultáneamente sueño lento y pérdida de calor o, por el contrario, una lesión de esta área del cerebro produce insomnio al tiempo que hace que el animal pierda la capacidad de regular la temperatura de su cuerpo, dejándola a merced de los cambios de la temperatura del medio ambiente (se hace poiquilotermo).

#### LOS CICLOS DE LA TEMPERATURA DEL CUERPO

Los ritmos circadianos de la temperatura corporal marcan una impronta tan importante en toda la fisiología de los mamíferos que los hace autónomos e independientes no sólo de la temperatura del medio ambiente, sino de la actividad de otros ciclos circadianos como, por ejemplo, los del latido cardíaco o la presión arterial y, más particularmente, del ciclo vigilia-sueño. En los seres humanos estos ciclos circadianos de la temperatura del cuerpo persisten incluso durante la deprivación de sueño. Son también independientes de los cambios o fluctuaciones de la propia temperatura corporal y sólo desaparecen cuando ésta desciende entre 6 y 16 grados centígrados, dependiendo de la especie de que se trate. Varios estudios han mostrado además que los ciclos circadianos de la temperatura tienen mecanismos cerebrales de control que los hacen diferentes de aquellos que controlan la ingesta de agua y comida y también la actividad motora espontánea del animal. Que la temperatura del cuerpo cobra un significado biológico tan importante para la supervivencia del ser humano, como quizás los períodos vigilia-sueño, nos lo muestra toda una serie de observaciones que por su interés describo en los siguientes apartados.

#### UN NIÑO ENTRE LOS MAIZALES DE IOWA

En una mañana gélida en Iowa, en Estados Unidos, un niño de dos años se escapó de su casa durante la noche. Unas horas más tarde su madre se despertó y se percató de su ausencia. Se lo encontró boca abajo en una charca de agua congelada entre unos maizales no muy lejos de la casa. El pijama del niño estaba congelado y pegado a su piel y el hielo había comenzado a formarse alrededor de su cara. No se le pudo detectar ni respiración ni latidos del corazón. La temperatura de su cuerpo era de 15 grados centígrados. Estaba muerto clínicamente. Ante este espectáculo, y a pesar de la clara evidencia de muerte, uno de los policías se abalanzó sobre el niño y trató de hacer una reanimación cardiorrespiratoria. Durante mucho tiempo estuvo el policía tratando de

recuperar al niño sin obtener respuesta. De pronto notó una contractura muscular y también un débil latido cardiaco y tras ello el niño comenzó a respirar por sí solo.

¿Cómo fue posible en este caso recuperar la vida del niño tras estar congelado y clínicamente muerto? Se supone que uno de los factores que permitieron esta congelación recuperable fue que el cuerpo del niño se fue enfriando lentamente, lo que produjo la reducción paulatina de su metabolismo y redujo con ello la actividad de sus principales órganos y también de modo considerable la cantidad de oxígeno necesario para mantenerlos vivos. De esta manera se pudo prevenir un daño importante en el organismo del niño cuando su corazón dejó de latir. El hecho además de que el niño dejara de respirar en el momento en que su cara se sumergió en el agua también impidió que se ahogara en el charco. El final de esta historia es que el niño, una vez en el hospital, requirió de una intensa terapia física diaria y se le tuvo que enseñar, de nuevo, a andar. Hasta donde los registros alcanzan, parece que el niño, un año después, era completamente normal.

¿Qué sabemos científicamente de cómo funciona el cerebro a bajas temperaturas, temperaturas por debajo de los 35 grados centígrados que es como se define la hipotermia? Una cosa es clara, normalmente en el adulto y, en general, cuando la temperatura del cuerpo desciende por debajo de los 35 grados, comienza el riesgo serio de muerte. No es tanto así en los niños, que son mucho más tolerantes al frío. De hecho, la hipotermia es beneficiosa en los casos de los recién nacidos con asfixia muy probablemente porque, como vimos en el caso del niño de Iowa, se reducen de modo importante las necesidades de oxígeno por el organismo. En cualquier caso, el cerebro es el órgano más delicado en estas circunstancias de hipotermia y enlentecimiento e incluso parada cardiaca. Efectivamente, mientras la temperatura del cerebro desciende en un cada vez más profundo estado hipotérmico, los reflejos corticales se pierden, seguidos de los reflejos mesencefálicos y medulares. Se han descrito daños en el sistema nervioso cuando la temperatura del cuerpo baja de los 20 grados centígrados, tope límite considerado durante mucho tiempo letal para el organismo adulto. Sin embargo hoy, con técnicas modernas de control respiratorio y circulatorio, ha sido posible bajar la temperatura corporal en niños hasta los 5 grados centígrados y en un paciente adulto hasta 10 grados, en ambos casos con una recuperación exitosa. En monos ha sido posible incluso enfriar su cerebro y el resto de su cuerpo a temperaturas cercanas a los 0 grados centígrados y con el corazón parado durante dos horas con una recuperación posterior completa y al parecer normal.

#### DEL ESTADO CATALÉPTICO DE LA SERPIENTE A LA HIBERNACIÓN DE LA ARDILLA

La serpiente, como todos los reptiles, es poiquiloterma, y, por tanto, cambia la temperatura de su cerebro y el resto de su cuerpo acorde a la temperatura ambiente; esto es, si hace frío su cuerpo se enfriá y enlentece, si hace calor su cuerpo se calienta y se

torna activo. En contraste con la serpiente, la ardilla, como todos los mamíferos, es homeoterma; esto es, tiene una temperatura en su cerebro y su cuerpo que se mantiene constante independientemente de las fluctuaciones de la temperatura en el medio ambiente. Ambas especies, sin embargo, llegado el invierno, sufren un adormilamiento o letargo que dura toda la estación. Durante ese tiempo, entre tres y cuatro meses, quedan inactivos en un nicho o nido, y no comen ni beben. Llegada la primavera despiertan de ese largo letargo y retoman su vida cotidiana hasta el nuevo invierno. ¿Es diferente el estado de inactividad de la serpiente y la ardilla? ¿Qué ocurre en el cerebro de estos animales durante este estado? ¿Qué diferencias hay entre estos animales y la mayoría de los mamíferos, incluido el hombre, que no tienen la capacidad de aletargarse o hibernar? ¿Se podrían inducir artificialmente en el hombre estos estados de letargo o hibernación para los largos viajes espaciales que supuestamente puedan plantearse en un futuro próximo?

Un simple experimento muestra muy claramente la diferencia entre la serpiente y la ardilla en cuanto a la actividad y la temperatura de su cuerpo mientras cambia la temperatura del medio ambiente. Si cogemos la ardilla (capacidad de hibernar) y un reptil (estado vegetativo) y colocamos a los dos animales en una situación artificial de hipotermia, de modo que a la ardilla le reducimos la temperatura de su cuerpo a 5 grados centígrados y a la serpiente a 19 grados centígrados (máximo tolerable), y luego colocamos los dos animales en una jaula en que haya una temperatura constante de 18 grados centígrados, ocurre algo sorprendente. La ardilla aumentará espontánea y progresivamente su temperatura corporal hasta no sólo llegar a los 18 grados del medio ambiente, sino alcanzar la temperatura de 38 grados centígrados, que es la temperatura normal de su cuerpo. Ello se debe a que la ardilla posee mecanismos intrínsecos en su cerebro capaces de elevar su metabolismo a expensas de las reservas acumuladas y con ello la temperatura de su cuerpo. Por el contrario, la serpiente (cuyo cerebro no posee estos mecanismos) seguirá manteniendo la temperatura corporal de 19 grados hasta que eventualmente le sobrevenga la muerte por fracaso metabólico.

Entre la ardilla y la serpiente la diferencia básica está en que mientras la primera pone su cuerpo a hibernar de una forma activa y regulada por la puesta en marcha de circuitos específicos de su cerebro (lo mismo que su despertar de la hibernación), la serpiente lo hace de un modo pasivo, no controlado activamente por su cerebro, sino por mecanismos externos. Simplemente, la serpiente deja que la temperatura externa, fría, enfríe su cuerpo e induzca el letargo. El despertar se hace del mismo modo, de modo pasivo, es decir, un aumento de la temperatura ambiente, con la primavera, aumenta la actividad del sistema nervioso y ello conlleva consecuentemente el despertar del animal.

#### DE LA HIBERNACIÓN DE LA ARDILLA AL LETARGO INVERNAL DEL OSO

Frente a las estrategias de la serpiente y la ardilla (reptil y mamífero), con cerebros

diferentes, hay otros dos tipos de estrategias igualmente diferentes frente al invierno (son las de la ardilla y el oso, ambos mamíferos). El oso, comúnmente conocido como un animal que hiberna, no lo hace como tal, sino que tiene un estado intermedio entre los animales que hibernan y los que no lo hacen. A este estado intermedio del oso se le conoce como «letargo invernal». Mientras que el oso, al igual que la ardilla, pasa largos períodos en cuevas o madrigueras sin comer ni beber durante el invierno, los cambios en los parámetros fisiológicos de ambos animales son muy diferentes. Frente a la ardilla (cuya temperatura corporal durante su periodo de hibernación puede bajar hasta los 10 grados centígrados –es decir, puede bajar más de 27 grados–, su latido cardíaco pasar de 300 latidos a 7 u 8 y su metabolismo bajar hasta cerca de 100 veces), el oso, durante su letargo, sólo tiene un descenso de 5 grados centígrados (de 38 a 33 grados) en su temperatura corporal y conserva hasta el 60% de su metabolismo de verano. Quizá el parámetro diferencial más claro entre la fisiología de uno y otro animal, entre hibernación y letargo invernal, se demuestra con los experimentos sobre hipotermia que se han realizado: si al oso se le baja la temperatura de su cuerpo por debajo de los 20-17 grados centígrados, su corazón deja de latir y hay alto riesgo de muerte. Frente a ello, a la ardilla se le puede bajar la temperatura de su cuerpo hasta 0 grados o incluso bajo cero y su corazón seguir latiendo, sin riesgo aparente de muerte. Frente a la ardilla y el oso, el hombre, como la gran mayoría de los mamíferos superiores, no tiene ninguna de las capacidades antes descritas.

#### EL CEREBRO HIBERNANTE

Pero ¿cómo funciona el cerebro durante el proceso de hibernación? ¿Es la hibernación un proceso activo orquestado desde el cerebro? Como acabamos de ver, la hibernación no es un estado cataléptico como el de los reptiles ni un estado letárgico como el de los osos. El estado de hibernación es un estado más complejo inducido activamente y que envuelve a casi todos los órganos y sistemas del organismo y sus funciones. Este estado lo dispara el estímulo producido por el descenso de las temperaturas durante el invierno y comienza con un descenso tanto en la actividad de la corteza cerebral como en los mecanismos tronco y diencefálicos que controlan el sistema nervioso neurovegetativo. Hay, además, un claro descenso de la actividad del sistema reticular troncoencefálico y el animal hibernante entra en un estado de sueño superficial. En un estadio posterior, cuando la temperatura corporal desciende hasta los 25 grados centígrados, la actividad de la corteza cerebral queda casi suprimida, y a una temperatura corporal de 20 grados el electroencefalograma se torna isoeléctrico, es decir, una línea plana. En este estado, no sólo la actividad de la corteza cerebral, sino la actividad del tálamo y el hipocampo, quedan suprimidas. Frente a ello, sin embargo, el hipotálamo permanece activo con descargas de actividad intermitente junto a otras áreas del sistema límbico. Un resumen muy apretado de la actividad del cerebro durante la entrada en hibernación es un

descenso de la actividad neuronal de la corteza cerebral y áreas asociadas, como el tálamo y el hipocampo (áreas de relación con el mundo externo), y un aumento de la actividad hipotalámica y otras áreas del sistema nervioso que controlan la actividad del cuerpo (sistema nervioso vegetativo). Este sistema neurovegetativo, pues, está operando y controlando activamente este cerebro ya hibernado. Y es por ello por lo que el animal se torna altamente sensible y, podríamos decir, atento a los estímulos estresantes del medio ambiente. El despertar desde el estado de hibernación (disparado también por un aumento de la temperatura externa) ocurre con un patrón diferente de actividad neuronal que en consonancia con lo dicho anteriormente se inicia en el sistema límbico y neurovegetativo seguido de las otras partes del sistema nervioso.

Todo ello nos lleva a la hipótesis de que tanto el inicio como la salida del proceso de hibernación se ponen en marcha por una serie de mecanismos neurales integrados y orquestados coherentemente y no por un proceso cerebral pasivo (Gisolfi y Mora, 2000). Todo este patrón de actividad neural se orquesta junto a la actividad de todos los sistemas y órganos del organismo, entre los que el sistema endocrino desempeña un papel activo y relevante. Por ejemplo, la actividad hipofisaria, la secreción de hormonas pancreáticas como la insulina y el glucagón y también del tiroides (tiroxina), se ha mostrado especialmente relevante en estos procesos.

#### LOS LARGOS VIAJES ESPACIALES: ¿CATALEPSIA, LETARGO O HIBERNACIÓN?

Nos encontramos en la era del espacio. Hoy, como nunca en la historia del hombre, se habla de modo especulativo, pero seriamente, de la posibilidad y tal vez la necesidad de que el hombre, algún día, emigre a otros planetas o satélites de nuestro propio Sistema Solar o incluso a otros sistemas solares. En los vuelos espaciales actuales alrededor de la Tierra o los que se hicieron a nuestro satélite, la Luna, el tiempo de vuelo es tan corto comparado con la vida media del hombre que los considerandos del tiempo biológico apenas cuentan y en ellos además el hombre conserva todos los patrones circadianos con los que normalmente vive en la Tierra. Pero ¿qué podría suceder ante la eventualidad de un desarrollo tecnológico capaz de llevar al hombre a otro planeta que requiriese un viaje de varios años de vuelo? ¿No sería tan importante como la tecnología aeroespacial y computacional conocer mecanismos cerebrales capaces de adaptar al hombre a tales circunstancias? No es concebible mandar a un hombre joven a explorar un planeta extraño y que retorne viejo a la Tierra. ¿Podríamos sacar ventaja de nuestros conocimientos actuales y futuros sobre el cerebro durante la catalepsia, letargo o hibernación para mantener en suspenso durante largos períodos de tiempo la actividad biológica enlenteciendo incluso el proceso de envejecimiento?

Por de pronto no parece que sea posible la hipotermia en el hombre durante períodos más allá de unas horas. Es más, la hipotermia en el caso del ser humano no parece un instrumento realmente útil, al menos con nuestros conocimientos actuales, en tanto que

parece claro que, salvo casos extraordinarios y excepcionales (como el descrito para Johnny Stevens, que se recuperó completamente tras bajar su temperatura corporal a 17,8 grados centígrados, y la frecuencia respiratoria, a tres respiraciones por minuto), la temperatura corporal del ser humano no puede descender más allá de los 25 grados centígrados sin un riesgo muy alto de muerte (Gisolfi y Mora, 2000).

¿Pero y el letargo o la hibernación de la que empezamos a conocer los mecanismos cerebrales que la inducen y la recuperan? Conocida en profundidad la dinámica de los circuitos distribuidos del cerebro hibernante, ¿se podrían crear programas computacionales capaces de integrar en el tiempo una secuencia de estímulos (campos electromagnéticos) que activasen las diferentes áreas y circuitos del cerebro de manera que de modo artificial se indujera el estado de hibernación al igual que en el cerebro hibernante lo hace la propia naturaleza con el frío? Alternativamente, ¿se podría inducir un estado de hibernación en el ser humano no a partir de programas de estímulos del cerebro, sino a partir de la inyección de sustancias químicas capaces de hacer descender la tasa de metabolismo hasta niveles en los que se indujera sueño, y una significativa reducción en las necesidades de agua, oxígeno y alimentos? De hecho, en la sangre de los animales hibernantes como la ardilla se ha descubierto una sustancia capaz de inducir un estado de hibernación, el llamado factor de hibernación o disparador de la hibernación. En cualquier caso, hoy todas estas consideraciones pertenecen todavía al reino de la especulación, y se carece de datos sólidos que avalen siquiera remotamente estas posibilidades en el ser humano (Gisolfi y Mora, 2000).

## EL MUNDO QUE VEMOS ¿EXISTE REALMENTE FUERA DEL CEREBRO?

... Y es que en el mundo traidor nada hay verdad ni mentira: todo es según el color del cristal con que se mira.

RAMÓN DE CAMPOAMOR  
*Dolora LIX: Las dos linternas.*

Las neuronas presentan argumentos al cerebro basadas en las características específicas que detectan en el mundo exterior. Argumentos con los que el cerebro construye su hipótesis de la percepción.

COLIN BLAKEMORE  
*Mechanics of the Mind.*

Todo lo que somos capaces de percibir del mundo que nos rodea es a través de nuestros órganos de los sentidos. No existe la percepción extrasensorial. Todo lo que usted hace en este momento, incluida la visión y la lectura de este texto, o lo que puede ver en alguien que está dando una conferencia, lo que incluye el lenguaje, los gestos faciales y corporales, su expresión emocional y todo lo que le rodea, en sonidos u olores del medio ambiente, es información sensorial. El proceso de decodificación que usted realiza en su cerebro de todo aquello que su retina, su órgano de la audición o su pituitaria olfativa detecta en el medio ambiente, por muy prosaico que parezca, es lo que proporciona la base y la riqueza de sus conocimientos. Fuera de ese enorme, inexplorado y también grandemente ignorado mundo de procesos físicos y químicos que nos rodea, no existen ni los fantasmas ni los espíritus. Los fantasmas se construyen en nuestro cerebro, cierto, pero no salen de él.

### VENTANAS AL MUNDO

Nuestros órganos de los sentidos son ventanas que abren nuestro cerebro a todo aquello que nos rodea. Un árbol, una flor, una casa, un gato, todos tenemos claro qué son y no hay duda posible, para una persona normal, que le lleve a confundir unas cosas con otras. Sabe lo que ve y sabe que eso que ve está fuera de sí mismo. Pero ¿cómo hace eso el cerebro? ¿Estamos reflejando en nuestro cerebro, como lo hace una cámara fotográfica, esa realidad intangible que es el árbol y el gato y que claramente percibimos fuera de nosotros? En otras palabras, ¿somos sin más receptores pasivos del mundo que nos rodea?

Por de pronto, algo parece evidente. Las neurociencias actuales ya nos indican que el

cerebro (nosotros mismos) no tiene acceso directo a cuanto acontece en el mundo externo a menos que esos eventos del mundo sean traducidos por los órganos de los sentidos. Nuestros órganos de los sentidos (la retina para la visión, el órgano de Corti para la audición, los receptores para el tacto, el gusto y el olfato) son sensores que traducen los sucesos que ocurren «ahí afuera» en procesos que suceden «dentro», en el cerebro. Es decir, diferentes tipos de energías del medio ambiente (como, por ejemplo, ondas electromagnéticas en el caso de la visión, ondas de presión en el caso de la audición, deformación mecánica de nuestra piel en el caso del tacto o moléculas químicas que lleva el aire en el olfato) revelan «cosas del mundo». Esas «cosas» convenientemente traducidas por los receptores sensoriales a un lenguaje simbólico, que sólo entiende el cerebro, permiten que éste elabore y construya en un proceso, tan maravilloso como todavía enigmático, «ese mundo» cotidiano que nosotros creemos y aceptamos como real.

Todo ello nos lleva a entender que el lenguaje que utiliza el cerebro para manejarse es diferente de los lenguajes que se utilizan en el mundo fuera de él. Hoy sabemos que la complicada maquinaria de receptores complejos como es la retina en el ojo procede no sólo a «traducir», sino a «analizar», a desmenuzar en pequeños fragmentos, aquello que luego el cerebro reconstruye en un largo y laborioso proceso de síntesis. Es decir, las neuronas de la retina no copian nada del mundo externo, sino que detectan cosas que son las que enviará luego al cerebro para su posterior procesamiento. Como señala Blakmore (1976): «Las neuronas presentan argumentos al cerebro basados en las características específicas que detectan (en el mundo exterior), argumentos estos con los que el cerebro construye su hipótesis de la percepción». De nuevo, ¿son el producto de este análisis y su posterior construcción o síntesis y la conciencia perceptiva final una reconstrucción fidedigna del mundo que nos rodea?

#### EL LIBRO DE LOS CÓDIGOS SENSORIALES

El modo en que el cerebro procesa la información que recibe de los receptores sensoriales está escrito en códigos impresos a fuego en nuestros genes, forjados con el martillo impredecible y azaroso del medio ambiente. La historia de esos códigos es la historia de nuestra propia evolución como individuos biológicos. Libro de códigos, por otra parte, que se han ido escribiendo, página a página, con una complejidad creciente, a lo largo de más de 500 millones de años. ¿Qué conocemos, pues, de esos códigos que dirigen la construcción de lo que somos conscientes de que nos rodea?

La neurociencia actual ha leído ya algunas páginas de ese libro, pero estamos desde luego sólo al inicio de esa lectura y todavía desconocemos la mayoría de lo escrito. De lo leído, sin embargo, sabemos que debe de ser una de las historias más fascinantes de nuestro ser y estar en el mundo porque de él tendremos que descifrar finalmente si nuestro conocimiento de lo que nos rodea es «real», es decir, si existe tal cual «ahí

afuera» o es un mundo construido (enteramente o en parte) por nuestro cerebro y diferente, por tanto, de muchos otros mundos posibles. En cualesquiera de los dos supuestos algo parece claro. La inexorable regla impuesta por la naturaleza y bajo la que se han escrito esos códigos para construir esos mundos posibles ha sido la de la supervivencia del individuo.

## LOS ÁTOMOS DE LA PERCEPCIÓN

Un ejemplo nos vendría bien ahora para entender de qué estamos hablando; sea éste la visión de una naranja. ¿Cómo construye el cerebro la sensación y la percepción de la naranja? Hoy sabemos que inicialmente la naranja no es analizada como objeto único por la retina, sino que es analizada y descompuesta por ésta en los muchos componentes que la forman, como son el color, la orientación, el movimiento, la profundidad, la forma y su relación con otros objetos del espacio. Todos estos componentes así separados son enviados al cerebro de una forma individualizada y por vías diferentes y paralelas. Pero además en la propia retina cada uno de estos componentes, como es, por ejemplo, la forma, no es captada como tal y enviada al cerebro así construida. Antes al contrario, la forma es desmenuzada allí mismo, en la propia retina, en componentes mucho más elementales y sencillos. Son estos elementos o «átomos» de percepción los que van a ser llevados a través de un proceso complejo de integración y convergencia a diferentes áreas del cerebro. Hoy sabemos, precisamente, que esta varia información de la forma, el color o el movimiento es distribuida en una secuencia de diferentes áreas y circuitos cerebrales, en donde sufre un posterior análisis y finalmente es almacenada.

## UN PERRO NEGRO SOBRE LA NIEVE

Tomemos ahora dos de las características que forman parte del percepto naranja y que ya hemos mencionado. Por ejemplo, la forma y el color. ¿Cómo analiza el cerebro las formas, en este caso, la redondez de la naranja? Hoy sabemos que las neuronas de la retina descomponen o analizan en pequeños puntos la línea que dibuja o perfila la forma característica de la naranja. Esto ocurre por la capacidad que estas neuronas tienen de captar los contrastes de luz-sombra que la luz provoca al incidir sobre dichos objetos. ¿Qué es lo que permite ver tan perfectamente un perro negro sobre la nieve y tan mal un perro blanco? O para el caso, ¿qué hace que no veamos un perro gris sobre un fondo de hojas grises? Claramente, el contraste que la luz crea entre la línea que marca la forma del perro (negro) y el fondo (blanco). Todo esto nos pone de manifiesto la importancia no sólo del objeto visto, sino del fondo sobre el que se ve el objeto. Pues bien, tales contrastes son los que activan las neuronas de la retina que tienen campos receptivos anulares (redondeados) con un centro de sombra y una periferia de luz (o al revés) en sus

campos receptivos que no miden más allá de décimas de milímetro. Y así la figura del perro, es decir, la línea que dibuja el perfil de la forma, es finalmente descompuesta en miles de pequeñísimos puntos redondeados. Tal análisis inicial pasa posteriormente por una síntesis progresiva a cargo de las neuronas situadas en las vías visuales que corren desde la retina al tálamo y de éste a la corteza visual.

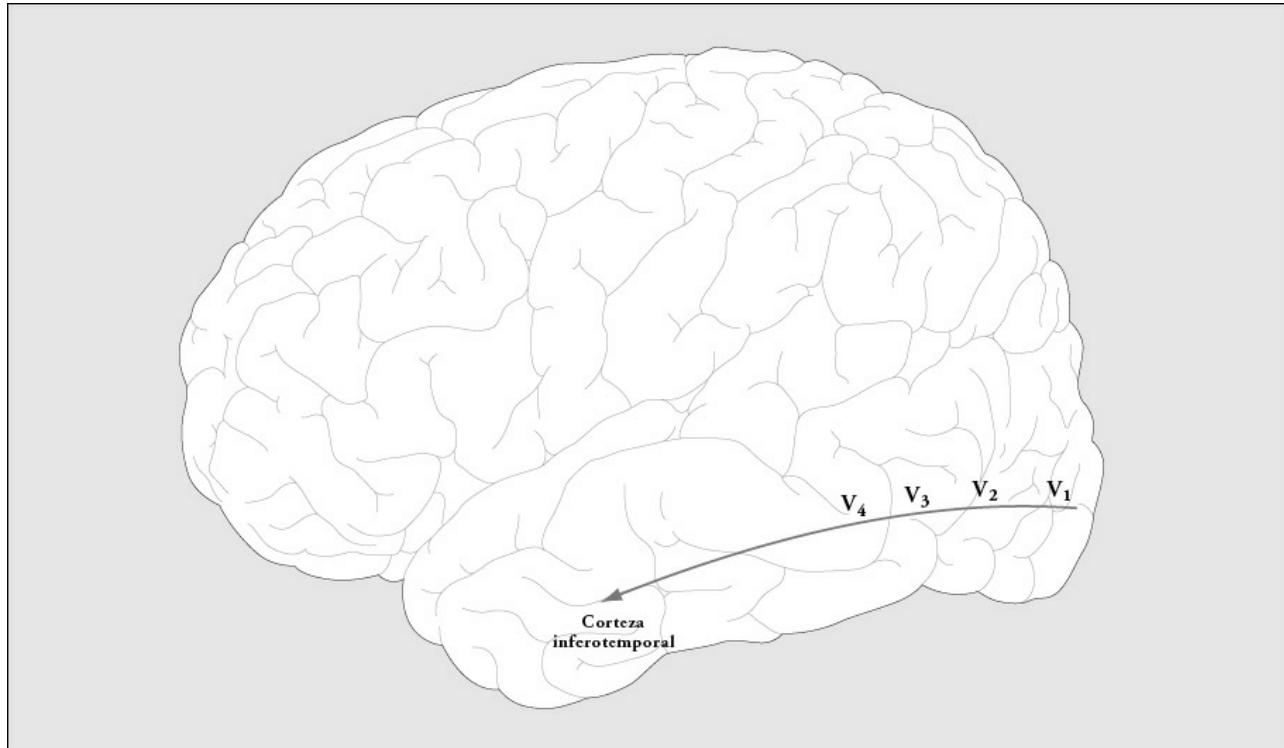


FIGURA 6. Procesamiento de la información visual hasta alcanzar la corteza inferotemporal.

En la corteza visual (corteza occipital) hay muchas áreas específicas dedicadas a procesar los diferentes aspectos que hemos mencionado. Así, en la llamada corteza visual primaria o estriada (V1), en las áreas de asociación visuales y en la corteza inferotemporal (V2, V3, V4, etcétera) existen neuronas que responden no ya a puntos de luz-sombra, como las neuronas de la retina o del tálamo, sino a líneas o barritas de luz-sombra. Hubel y Wiesel han interpretado que varias neuronas de la retina y luego del tálamo convergen sobre neuronas de la corteza visual, y estas últimas integran o suman los puntos retinales creando líneas. A estas neuronas se les ha dado en llamar neuronas simples. De esta manera, y bajo la hipótesis de un proceso de convergencia e integración constante, las neuronas pasarían de «entender» puntos de luz a «entender» secuencias de puntos de luz o «barritas o líneas de luz» orientadas en todas las direcciones posibles del espacio y también líneas o barritas que se quiebran en ángulo recto. Posiblemente, de estas últimas se pasaría a neuronas más complejas capaces ya de «entender» configuraciones hechas por combinaciones de líneas hasta finalmente llegar a «entender» la figura del perro. Y es que hay neuronas en áreas como la corteza inferotemporal

(véase figura 6) que sólo son capaces de activarse si el estímulo está hecho de formas muy complejas, como una cara, por ejemplo. Y todo este proceso (teórico e hipotético al fin y al cabo) ¿acaso no está lleno de un sentido que es casi común?, porque después de todo ¿qué es el mundo visual de las formas sino la composición casi infinita de un conjunto de líneas orientadas en casi todas las direcciones posibles del espacio? Incluso la composición de objetos redondos, como la misma naranja, se hace con los mensajes de neuronas que sólo detectan pequeñas líneas rectas a nivel microscópico. Pero tampoco esto debe extrañar, porque, ¿qué es una línea curva sino la sucesión no estrictamente lineal de líneas rectas suficientemente pequeñas? Es de este modo como se ha supuesto el proceso de reconstrucción cerebral de las formas y otras características complejas del mundo visual.

## EL CEREBRO PINTA EL MUNDO DE COLOR

¿Cómo percibe el cerebro el color de la naranja? ¿Existen los colores en el mundo externo a nosotros? ¿Tiene la naranja su color como una propiedad física intrínseca e independiente de quien la mira? No parece que tal sea el caso. Como veremos luego, el color que yo veo de la naranja lo construye activamente mi cerebro en función de los receptores de la retina, la estructura neuronal y los programas de su funcionamiento. Muchos animales no ven en color porque no tienen receptores con los pigmentos adecuados. El color es una propiedad que ha aparecido en el cerebro de muchas especies y desaparecido en otras tantas a lo largo del proceso evolutivo. Por ejemplo, entre los animales que carecen o tienen muy poca visión en color están los reptiles, las ratas, los gatos y los perros. Sin embargo, muchas especies de peces y pájaros tienen una buena visión en color. Junto a estos últimos están casi todos los primates superiores (casi todos los monos, excepto alguno nocturno, como el mono lechuza), los antropoides (gibones, orangutanes, gorilas y chimpancés) y el hombre. Esto indica el valor estratégico de la visión en color en función de determinadas circunstancias y su valor de supervivencia para dicha especie en un medio ambiente determinado. Efectivamente, el color, frente a la visión en blanco y negro, enriquece el mundo visual y las experiencias del individuo. Muchas características del mundo visual se perderían si no fuéramos capaces de ver en color. Es verdad que con el blanco y negro destaca con precisión el contraste de las formas, pero este tipo de visión es muy pobre para identificar y etiquetar el inmenso abanico de objetos y alimentos que nos permiten distinguirlos con el color. Por otro lado, también el color es importante para el camuflaje de muchas especies y así evitar los depredadores. En cualquier caso, de nuevo, todo ello sigue férreamente la ley de la supervivencia.

La visión en color de un objeto es una propiedad que se debe fundamentalmente a la longitud de onda reflejada por el objeto en cuestión, aun cuando las longitudes de onda reflejadas por todo lo que rodea a dicho objeto son también importantes. El color naranja

en mi retina depende, por tanto, de la longitud de onda de la luz que reflejan los pigmentos de la piel de la naranja, en la franja alta de frecuencia visible del espectro, pero también es función de las longitudes de onda que reflejan las hojas y las ramas del árbol que están detrás y alrededor de la naranja. De ese contraste de longitudes de onda, como de los contrastes blanco-negro (luz-sombra para las formas), extrae definitivamente el cerebro el color de los objetos. Y es que las neuronas de la retina sacan información de ese mundo visual (color) por contrastes de longitudes de onda en sus campos receptivos. Precisamente los objetos que reflejan en sus superficies o pigmentos todo el espectro visible por igual y no dan lugar a contraste de longitudes de onda (colores) no son detectados por las neuronas de la retina y son interpretados por el cerebro como objetos sin color, es decir, como negros, grises o blancos, dependiendo del fondo sobre el que se ven estos objetos. Finalmente, esos contrastes de color detectables por las células ganglionares de la retina son enviados a un área específica de la corteza cerebral que es la principal responsable de elaborar la sensación consciente del color. Esta área visual se conoce con el nombre de V4.

#### NARANJAS GRISES Y PÁJAROS QUE NO VUELAN

Pacientes con lesiones muy selectivas del área V4, bien por intoxicaciones o traumatismos, desarrollan un síndrome conocido como acromatopsia (no-color). Estos pacientes han perdido la visión de los colores y sólo ven con matices de gris. Son incapaces de ver o conocer en color o incluso, lo que parece más sorprendente, no pueden evocar mentalmente colores de objetos, escenas o situaciones percibidos con anterioridad a la lesión y tampoco soñar en colores. No obstante, si sus retinas u otras áreas visuales como la estriada V1 se conservan intactas, estos pacientes perciben perfectamente tanto la forma como la profundidad y los movimientos de los objetos.

Alguien que es ciego de nacimiento no puede tener ninguna idea ni experiencia del color, debido a que éste, el color, lo elabora el cerebro desde las frecuencias de onda que recibe la retina reflejadas por las superficies de los objetos en el mundo externo. Y, es más, no hay ningún otro sentido que provea al sujeto con una pista, siquiera por vía indirecta, para aproximarse a lo que significa el color. Sin embargo, este mismo ciego de nacimiento sí puede aproximarse a la idea de las formas porque el tacto le provee de esa vía indirecta capaz de formar en su cerebro esos perceptos.

Es interesante que al igual que hay pacientes que por lesiones específicas del cerebro han perdido la capacidad selectiva de ver en color, conservando intactas las demás propiedades de la visión, como la forma o el movimiento, no se ha descrito en la literatura médica ningún caso de pacientes que conservando la capacidad de ver colores o el movimiento y la profundidad de los objetos hayan perdido la capacidad de ver las formas de los mismos. Esto último nos habla de que la función más básica e importante en la visión es la detección de formas y de su inviolable unión a la supervivencia del

individuo. Ello, en parte, se debe a que el procesamiento de las formas, frente al procesamiento del color, compromete la participación de muchas partes del cerebro, lo que incluye tanto la V1 como la V2, V3 y la misma V4. Esta complicada distribución en diferentes áreas visuales hace más difícil su susceptibilidad a las lesiones.

Tan selectivas como las lesiones del área V4 para el color son también las lesiones del área V5 para el movimiento. Como en el color (V4), la región V5 parece ser la principal área visual que codifica y elabora la percepción consciente del movimiento de los objetos. Y efectivamente, lesiones de esta región V5 en pacientes producen acinetopsia (no-movimiento). Los enfermos con este tipo de lesiones no ven los objetos en movimiento. Es más, estos pacientes pueden ver los objetos si éstos están fijos en el espacio, por ejemplo, un vaso sobre una mesa, pero dejan de ver el vaso si éste se mueve de un lado a otro y vuelven a verlo de nuevo cuando se deja quieto sobre la mesa. Para estos pacientes, los pájaros no vuelan. De nuevo, estos pacientes tienen perfectamente conservadas la percepción del color y la forma de los objetos, así como las demás características de la visión. Sin duda que todos estos síndromes clínicos ponen de manifiesto, claramente, la especificidad funcional de la corteza visual.

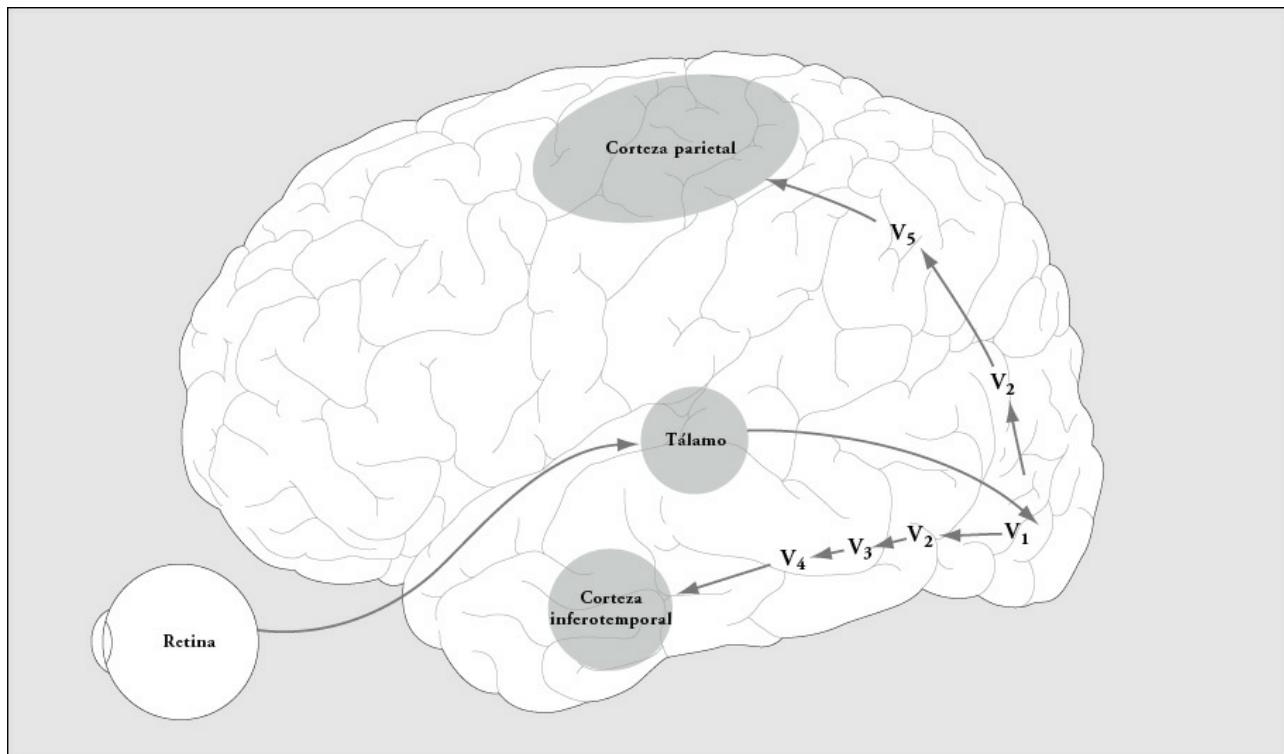


FIGURA 7. Procesamiento de la información visual en serie y en paralelo.

En definitiva, todas estas investigaciones han llevado, en un ensamblaje de datos experimentales, datos clínicos y construcciones teóricas, a la idea de que el proceso de reconstrucción del mundo visual es paralelo y en serie a la vez y distribuido en áreas diferentes y distantes en el cerebro (véase figura 7). Paralelo porque diferente

información va por distintas vías. Seriado porque cada tipo de información, en sus diferentes vías, sufre, a su vez, un proceso de convergencia e integración, para terminar cada una de estas vías en áreas específicas en donde se ultima el procesamiento perceptivo de la naranja (que es el ejemplo que hasta ahora hemos venido tomando y que procede del mundo exterior). Hoy, además, sabemos que el procesamiento en cada una de esas áreas finales no es un proceso pasivo, tal cual se suponía, sino que el cerebro sigue un proceso activo, al descartar en su análisis toda aquella barahúnda de información que es irrelevante. Por ejemplo, somos capaces de identificar perfectamente un animal o un objeto y asignarle un color de modo permanente. Y ello ocurre a pesar de que los objetos y las cosas están en constante movimiento y ofreciendo a la retina perspectivas diferentes y muchas veces perspectivas nuevas, lo que sin duda puede llegar a ser confuso para la extracción de las formas.

De igual modo en el caso del color. Efectivamente, las superficies de los objetos, siempre en movimiento, cambian y refractan de modo diferente las longitudes de onda, que son, en definitiva, las que nos permiten identificar el color. A pesar de ello los mecanismos de nuestro cerebro permiten asignarle un color a cada cosa que es característico y constante de esa cosa. Como señala Zeki (1995):

Para adquirir conocimiento acerca del mundo exterior, la corteza cerebral no puede analizarlo pasivamente, sino que debe poner en marcha alguna operación para rechazar la información siempre variable que le llega y aproximar sus propios constructos lo máximo posible a las auténticas constantes físicas de los objetos y, de este modo, ser capaz de clasificarlos según el color, la forma, el movimiento, etc. [...] los nuevos conceptos (acerca del proceso del objeto visto) incluyen funciones y comunicación neuronal en paralelo, segregación funcional, especialización funcional, ideas acerca de que la imagen del mundo visual en el cerebro no es un proceso pasivo, sino un proceso de construcción activo, y desde luego que no haya una línea divisoria entre ver y comprender o ser consciente de lo que se ve.

#### DE CÓMO EL CEREBRO CONSTRUYE EL MUNDO QUE VE

Lo extraordinario de todo esto es que cuando evocamos en imágenes mentales o vemos físicamente la naranja, nosotros siempre vemos una naranja, y nunca los componentes individualizados. En otras palabras, nosotros no vemos la forma por un lado, el color por otro y el movimiento por otro (a menos que conscientemente queramos evocarlos de forma individualizada). ¿Cómo es ello posible si cada característica de las que componen el perceptor naranja se encuentra procesada y almacenada en áreas diferentes y distantes del cerebro?

Necesariamente debe haber un mecanismo que, de alguna manera, cuando vemos la

naranja, active al mismo tiempo todas las áreas cerebrales correspondientes y ponga juntas todas sus características individuales, en este caso de la naranja, evocándola así y de modo final como objeto único. La forma en que el cerebro puede hacer todo esto recibe el nombre anglosajón de *binding problem* o «problema de la unión o ligazón». En estudios recientes se ha sugerido que los mecanismos de unir o poner juntas todas las propiedades de un objeto y evocar conscientemente el objeto son producidos por la actividad o disparo sincrónico de todas las neuronas que intervienen en el análisis de cada propiedad de la naranja (Singer, 1996; 1998) y que están localizadas, como ya hemos señalado, en áreas diferentes del cerebro. (Véase también el capítulo 6 a propósito de la conciencia.) Se crea así como una sinfonía de actividad en la que todas las neuronas de un área concreta (forma) tocan juntas y al mismo tiempo que las neuronas de otras áreas (color y movimiento) aportando cada una durante fracciones de segundo sus peculiaridades tonales y también posiblemente el «tempo» concreto de actuación, es decir, los tiempos concretos en los que participan, como hacen los diferentes instrumentos de una orquesta durante la ejecución de una pieza sinfónica.

En este sentido, lo interesante y sorprendente a la vez es que la información de, por ejemplo, color, orientación y movimiento no termina su procesamiento en sus áreas visuales al mismo tiempo, es decir, el proceso es asincrónico. En otras palabras, el color de un objeto o el movimiento del mismo no es percibido por el sujeto al mismo tiempo. Antes al contrario, tanto en monos como en humanos se ha visto que el color es visto antes que la orientación, y ésta, antes que el movimiento de ese mismo objeto. La diferencia de tiempo para la percepción consciente para el color, por ejemplo, con respecto al movimiento se ha estimado en aproximadamente unas 60 milésimas de segundo.

Esto tiene consecuencias para entender el procesamiento funcional de la «unión» (del que hablamos a propósito de la conciencia) que nos permite ver juntas todas las características del objeto y percibir (conscientemente) dicho objeto como objeto «único». Y más importante todavía, como señalan Zeki y Bartels (1998):

Ello quiere decir que el cerebro no pone necesariamente juntas todas las características del objeto visto en tiempo real, sino que, por el contrario, une los resultados de las operaciones que tienen lugar en sus diferentes sistemas de procesamiento tomándose el tiempo que el procesamiento necesita. En la ventana de los microsegundos, el cerebro desune su actividad en relación con el tiempo real.

Es de esta forma que violines (forma), chelos (color), bajos (movimiento), etc., tocando juntos evocan esa magnífica sinfonía que en nuestro caso es la visión consciente de la naranja. La diferencia con la orquesta es que en el caso del cerebro son los músicos mismos, las neuronas, sin director, quienes crean los sonidos gratificantes. Sin duda que todo ello es todavía conjetura, pero hay datos que permiten creer que esta hipótesis de

trabajo, la orquestación casi sincrónica de las neuronas de las distintas áreas visuales, es un camino en la dirección más probable de entender cómo se crea el proceso de la conciencia visual en el cerebro. Charles Sherrington (1968) decía con admiración y perplejidad acerca de la percepción visual:

Cuando vuelvo mi mirada al cielo y veo la cúpula del cielo, el disco brillante del sol y otros cientos de cosas visibles por debajo de él, me pregunto ¿cuáles son los pasos que dan lugar a eso? Un minúsculo rayo de sol entra en el ojo y estimula la retina. Ello da lugar a un cambio, que a su vez viaja hacia la parte más alta del cerebro. Toda la cadena de estos sucesos, desde el sol hasta esa parte más alta de mi cerebro, es física. Cada paso es una reacción eléctrica. Pero de pronto acontece un cambio completamente diferente a cualquier otro que lo supera y que es completamente inexplicable para nosotros. Una escena visual se presenta ante la mente. Yo puedo ver la cúpula del cielo y el sol en ella y a cientos de otras cosas visibles a su alrededor. De hecho, percibo una escena del mundo delante de mí... Es demasiado salto para que desde una reacción eléctrica en el cerebro se pase de pronto a ver el mundo a mi alrededor en todas sus distancias, sus colores y sus claroscuros.

Hoy, apenas sesenta años después, hemos acortado ya algo ese salto.

#### DE CÓMO UNA NARANJA SE TRANSFORMA EN TODAS LAS NARANJAS DEL MUNDO

De las áreas V1 y V2 pasando por las áreas V4 y V5 la información alcanza a las cortezas inferotemporales posterior y anterior conformando lo que se conoce como la vía cortical-visual-ventral. En estas áreas se han podido registrar neuronas con la capacidad de responder específicamente ya no a líneas simples o líneas que se interrumpen formando un ángulo recto, sino a figuras de composición compleja como, por ejemplo, el perfil de una cara. Es más, muchas de estas neuronas han mostrado una respuesta específica a objetos que el animal nunca había visto antes, como, por ejemplo, un cepillo del pelo. El hecho de que muchas neuronas de esta área respondan muy específicamente y sólo a caras o a manos o a un cepillo o a sillas o a casas indica que estas neuronas pueden pertenecer a circuitos que clasifican o agrupan los estímulos y los diferencian, es decir, los principios básicos de la abstracción o generalización en términos neurofisiológicos. De modo que neuronas de esta área han integrado las entradas de aquellas otras que codifican para líneas formando y construyendo un nuevo mensaje más complejo.

¿Qué permitió al cerebro desarrollar esa capacidad de encontrar propiedades o relaciones comunes a muchas cosas y extraer un concepto, una idea, que hable de todas ellas como una sola? ¿Qué hizo que pudiéramos pasar de nombrar y

detallar cada árbol, cada fruta, cada matojo de hierba, cada estado del cielo hasta llegar a decir simplemente «que hay una naranja, un alimento en un árbol en el huerto» y entenderlo?

¿Alguien puede imaginar el enorme ahorro del procesamiento y memoria que con ese «invento» de la abstracción ha logrado el cerebro? Con esta capacidad, el hombre comenzó su andadura de «pensar», rompiendo las cadenas de lo particular y concreto, y liberándose de recordar y comunicar cada estado del cielo y cada cosa o animal. La abstracción de la naranja, ya no la naranja concreta, es o puede ser todas las naranjas del mundo. ¿Puede uno imaginar mayor resumen? (Mora, 2001).

¿Pero cómo ha logrado alcanzar el cerebro este proceso tan fundamental de la abstracción? Para Zeki (2000):

La capacidad de abstraer fue una etapa crítica en la adquisición eficiente de conocimiento [...] y probablemente vino de alguna manera impuesta al cerebro por las limitaciones de su sistema de memoria, ya que este nuevo mecanismo desecha la necesidad de recordar cada detalle.

Es evidente que este proceso requiere de la capacidad del cerebro para clasificar o establecer categorías o diferencias entre objetos de manera que una serie de ellos se puedan agrupar juntos debido a que comparten o tienen en común una serie de propiedades, independientemente de sus diferencias físicas. Por ejemplo, nosotros somos capaces de agrupar ciertos animales en grupos que llamamos insectos, peces, pájaros, gatos, perros, serpientes, etcétera, a pesar de que en cada grupo hay una enorme diversidad en sus formas, tamaños y colores. Pensemos tan sólo en la enorme diversidad de formas, tamaños y plumas que representan los pájaros.

Este tipo de clasificación requiere que el cerebro reaccione de una forma similar a cierto tipo de estímulos que son físicamente diferentes y al mismo tiempo reaccionar de una forma distinta a estímulos que pudieran ser físicamente muy parecidos. Por ejemplo, un objeto hecho de madera que se parezca a un plátano real. Esta propiedad no sólo la tiene el cerebro humano, sino que los primates también son capaces de ello. Los monos, por ejemplo, son capaces de aprender este agrupamiento de cosas y clasificarlas de modo que distinguen con claridad entre estímulos, que son físicamente diferentes, pero que pertenecen a un agrupamiento o clasificación, como árboles, peces, etc. Y tener una respuesta acorde.

## NEURONAS, CIRCUITOS Y ABSTRACCIÓN

Sin duda que esta capacidad de abstraer es uno de los problemas más fascinantes con los

que se enfrenta hoy la neurociencia. ¿Hay datos que nos permitan conocer algunos mecanismos cerebrales de este fenómeno? Y si es así, ¿cómo hace esto el cerebro? ¿Qué mecanismos posee el cerebro que nos permitan saber que esta propiedad es una propiedad inherente a su funcionamiento, es decir, al funcionamiento de sus neuronas y circuitos?

Sabemos muy poco de ello, pero parece que el cerebro (un sistema de memoria) es capaz de reconocer un objeto tras la presentación del mismo desde diversas perspectivas, pero no todas las posibles. El sistema entonces es capaz de hacer interpolaciones entre estas diferentes visiones y abstraer una visión del objeto que permite posteriormente su reconocimiento cuando éste es presentado en una posición u orientación o incluso forma completamente nueva y nunca presentada antes. Estas neuronas y circuitos parecen, en parte, estar localizados en la corteza visual inferotemporal.

Recientemente se ha sugerido que también la corteza prefrontal lateral podría ser otra de las áreas cerebrales cuyos circuitos pueden participar en ese proceso de abstracción o categorización de los objetos. En otras palabras, la capacidad, como ya hemos apuntado, de abstraer de lo concreto una categoría abstracta que nos permita asignarla a muchas cosas diversas y diferentes. En un trabajo reciente un mono fue entrenado para distinguir en la pantalla de un ordenador un «perro» de un «gato». El experimento consistía en registrar el disparo de neuronas de la corteza prefrontal dorsal ante la visión de una u otra figura. En estos experimentos se pudo comprobar que muchas de las neuronas de esta área respondían selectivamente a los estímulos visuales que pertenecían o bien a la categoría «gato» o bien a la categoría «perro», pero no a las dos. La esencia del experimento consistió en ir mezclando las características visuales de modo que el «perro» se fuera pareciendo más al «gato», y el «gato», más al «perro». El experimento mostró que, incluso con figuras bastante próximas «gato-perro, perro-gato», estas neuronas respondían con la misma intensidad a «gato» o a «perro» independientemente de la proximidad morfológica de una figura o la otra. El disparo de estas neuronas, pues, reflejaba de esta manera la pertenencia a una categoría del estímulo más que al simple procesamiento de las características físicas de la imagen.

En el ser humano se ha visto que junto a la corteza prefrontal neuronas de otras áreas del cerebro como el hipocampo, la corteza entorinal y la amígdala también responden específicamente a ciertas categorías de estímulos y no a otras. Por ejemplo, un estudio mostró que el 18% de las neuronas registradas en el hipocampo, el 16% de las de la corteza entorinal y el 9% de las de la amígdala responden sólo a la presentación de un tipo de fotografías (caras de personas o animales, una casa o un plato con frutas), pero ninguna de las neuronas respondía a todos los estímulos, ni siquiera a dos de ellos. Todo esto indica que el proceso de abstracción no es un proceso limitado a un área del cerebro, sino que posiblemente se trate de circuitos distribuidos en amplias áreas del cerebro a las que llegan los estímulos tras haber pasado los procesamientos sensoriales neuronales primarios y básicos (Gross, 2001).

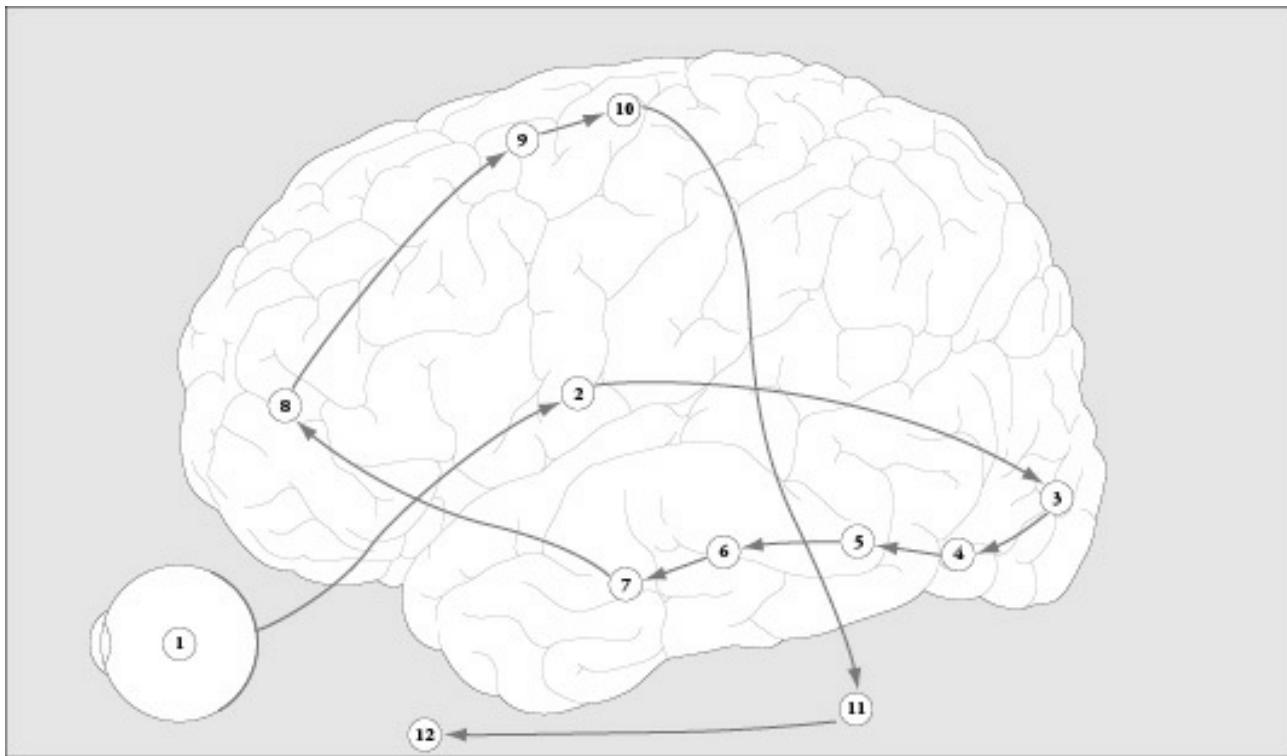


FIGURA 8. Tiempos en el procesamiento cerebral de la información tras la visión de un objeto, en milésimas de segundo.

- 1: ojo (retina) (20-40 ms).
- 2: tálamo (30-50 ms).
- 3: V1 (40-60 ms).
- 4: V2 (50-70 ms).
- 5: V4 (60-80 ms).
- 6: corteza inferotemporal posterior (70-90 ms).
- 7: corteza inferotemporal anterior (80-100 ms).
- 8: corteza prefrontal (100-130 ms).
- 9: corteza premotora (120-160 ms).
- 10: corteza motora (140-190 ms).
- 11: médula espinal (160-220 ms).
- 12: músculos (180-260 ms).

FUENTE: Basado en Thorpe y Fabre-Thorpe, 2001.

#### DE CÓMO LA INFORMACIÓN VISUAL VIAJA POR EL CEREBRO

El procesamiento de la información que se sucede en el cerebro y que acabamos de describir ocurre a una velocidad increíble (véase figura 8). Así, la información de la visión de la naranja que hemos tomado como ejemplo es procesada en la retina en aproximadamente 20 a 40 milésimas de segundo. De allí la información pasa al tálamo, donde su procesamiento es muy rápido y a los 30-50 ms sale hacia la corteza cerebral. En la corteza cerebral, en su área visual primaria V1 (donde se procesan las informaciones recibidas en forma de puntos y se integran para crear las formas más

elementales de líneas), la información sale a los 40-60 ms. Desde allí, la información se dirige a las diferentes otras áreas de la corteza visual, como la V2 (50-70 ms) y a la V4 (formas ya más integradas con ciertas características y color; 60-80 ms) y a las cortezas inferotemporales, posterior (70-90 ms) y anterior (construcción de formas complejas, como caras y objetos completos; 80-100 ms). Desde aquí se cree que la información se procesa principalmente en áreas como la corteza prefrontal, donde se desarrolla, al menos en parte, el proceso de abstracción o clasificación genérica de las cosas y donde, además, se albergan los principales circuitos neuronales responsables de la planificación y toma de decisiones (100-130 ms). De aquí la información pasa a áreas de planificación motora (corteza premotora; 120-160 ms). Finalmente, esta información pasaría ya a las áreas en las que se planifica la ejecución motora de una decisión o, si se quiere, la iniciación de la conducta motora (140-190 ms). De aquí la información baja a la médula espinal (160-220 ms) y tras ello la contracción de los músculos (180-260 ms) (Thorpe y Fabre-Thorpe, 2001).

## EL TACTO VISUAL DE EUCLIDES

Un hombre tan capaz como el matemático Euclides no podía concebir el mundo sensorial a menos que fuese a través del sentido físico del tacto. Las cosas eran reales en tanto que «tocadas», incluida la visión. La realidad, para los antiguos, era realidad si era percibida como material y sólida. Para Euclides, por ejemplo, la luz emergía de los propios ojos que como infinitos dedos invisibles iluminaba los objetos y, por tanto, hacía contacto físico con ellos. De esta manera, los objetos podían ser tocados y vistos físicamente. Precisamente, el tacto aparece así como un sentido de los más primitivos y básicos para la interpretación sensorial del mundo.

El sentido del tacto se construye en el cerebro en otras partes diferentes a aquellas que construyen el mundo visual y también diferentes a aquellas otras que construyen los sentidos del olfato, el gusto, el sonido, etc. Quizá el mundo del tacto, junto al visual, son los sistemas sensoriales mejor estudiados. Efectivamente, de modo muy similar a como hemos descrito la construcción del mundo visual, ocurre en el mundo del tacto, donde los receptores, localizados en la piel de nuestros dedos y del cuerpo, son capaces de proveer la información a las diferentes áreas de la corteza cerebral (áreas de Brodmann 3a, 3b, 1 y 2), y así discriminar y construir el mundo de las formas (recto, curvo, anguloso), tamaños (grande o pequeño), textura (liso o rugoso), presión y más allá el sentido y la conciencia de la posición de las manos o los brazos y las piernas. Y es de esta forma como se construye la sensación consciente e identificación de un objeto o en qué posición del espacio y en referencia a qué lo tenemos sujeto. Con los ojos cerrados, una persona normal puede identificar una botella, decir si es grande o pequeña y distinguirla de una tijera; en este caso, por mecanismos y procesos diferentes e independientes a aquellos de la visión. De manera similar a como hemos descrito

algunos déficits específicos para la visión, como las acromatopsias o acinetopsias, así la lesión del área 1 de Brodmann produce una incapacidad en el individuo para poder discriminar, mediante el tacto, si la superficie de un objeto es lisa o rugosa, manteniendo sin embargo su capacidad para discriminar la forma o el tamaño de un objeto.

Toda esta información sensorial varia, codificada, separada y selectivamente almacenada en áreas distantes del cerebro pasa a otras áreas de la corteza cerebral que se han venido en denominar áreas polisensoriales; es decir, áreas que ponen en relación dos o más modalidades sensoriales. Por ejemplo, la corteza parietal inferior necesita información tanto del tacto como de la visión para poder coordinar el movimiento del brazo y alcanzar un objeto determinado. Pero también en estas áreas polisensoriales arranca nuestro conocimiento consciente de un determinado objeto o alimento, no sólo como percepto exclusivamente visual o táctil, sino integrado en lo que puede ser su tacto, su gusto y su olfato y, desde luego, la impronta de bueno o malo.

#### DE LO BUENO Y DE LO MALO

Esta etiqueta emocional de bueno o malo se adquiere al pasar la información sensorial por el sistema límbico. Aquí la información procedente del tacto, oído, gusto, olfato y visión adquiere un colorido «emocional» que no existe en la naturaleza pero le permite al individuo vivir en ella. Estos sistemas emocionales del cerebro en realidad «crean» percepciones en un juego que va desde la disposición genética de los individuos hasta las modificaciones plásticas inducidas por el medio ambiente. El olor de los huevos podridos y nuestra conciencia de «mal olor» no existen con ese tinte en la naturaleza. Los huevos podridos «no huelen mal», pero nuestro cerebro ha diseñado sentir ese «mal olor» porque permite al individuo discriminar con variables que son importantes para su vida, en el caso de los huevos, alimento que es tóxico y es dañino. Es de esta manera que nuestros sentimientos (la conciencia de una cierta emoción) imponen al mundo significados que no tienen, un mundo, por otra parte, que tiene que ser bastante aburrido, porque sin los seres vivos debe ser silencioso, sin sabores ni olores ni colores. Pero hablaremos de ello en el capítulo siguiente.

## EL COLOR EMOCIONAL DE LAS PERCEPCIONES

Las emociones y los sentimientos son el origen, el encendido central de la conducta humana. Son la energía que permite el ensamblaje coherente de todos los ingredientes de una planificación futura, sea ésta realizar un viaje o escribir un libro. Sin el fuego emocional previo los planes, incluso los del *día a día*, quedan desintegrados, mal coordinados y sin mantenimiento ni realización. Las emociones son ese motor, tanto para nuestra inmediata reacción ante el peligro o el placer como para generar nuestras frustraciones y reacciones agresivas. Es por ello que los sentimientos y las emociones son la cara y la cruz, la luz y la sombra de lo que el hombre es. Son el cielo y el infierno de nuestra conducta con los demás seres humanos.

FRANCISCO MORA  
*El reloj de la sabiduría.*

En cada cosa que uno hace, con los conocimientos y las intuiciones disponibles al caso, uno escoge aquello que piensa que le va a reportar la mayor satisfacción o bienestar y el menor conflicto o malestar posible. El objetivo es alcanzar lo que se suele llamar corrientemente la felicidad, o, si se quiere, la sensación de sentirse bien [...] la felicidad no es un coche nuevo, fama, riqueza o incluso una manta caliente. Eso son cosas. La felicidad es una emoción, una reacción o sentimiento involuntario a lo que te sucede en el mundo.

HARRY BROWNE  
*How I found freedom in an unfree world.*

Cuando vemos una fruta madura colgada de la rama de un árbol y tenemos hambre, ¿qué nos lleva a centrar nuestra atención en la fruta y qué es esa extraña sensación placentera que nos invade? ¿Qué genera la energía interior que nos lleva hacia la fruta? ¿Qué sucede en nuestro cerebro entre la visión de la fruta y los cambios de nuestro organismo que finalmente nos llevan a cogerla? Y si ante el acto de cogerla aparece un perro feroz mostrando agresivo los dientes y presto a abalanzarse sobre nosotros, ¿qué ocurre en nuestro cerebro? ¿Qué hace que haya un cambio inmediato de conducta? ¿Qué hace que pasemos de una conducta emocional de placer y recompensa a una de dolor y castigo? ¿En qué se justifica y cómo se tornan en el cerebro esos dos determinantes, placer y castigo, en algo tan poderosamente determinante de la conducta?

La vida, el sentido de seguir vivo, está unido, codificado, junto al logro de recompensas. A nadie se le podría ocurrir que cuando una madre ve la lucha de su hijo por sobrevivir y lo ve sufriendo, le comine a sufrir todavía más. Por el contrario, está claro que la madre tratará de que su hijo abandone ese estado por todos los medios disponibles y que luche, no por el sufrimiento, sino por la alegría y la consecución de recompensas. Y es que hasta el bien supremo (la idea de Dios) está ligado, indisolublemente, a la obtención de recompensas y satisfacciones y a la ausencia o evitación del dolor y el castigo. Ésos son códigos con raíces ancladas en lo más profundo del cerebro. De hecho, el cerebro se encuentra diseñado sobre esas dos premisas básicas,

recompensa y castigo, en torno a las cuales se ha ido construyendo, a lo largo de la evolución, todo lo demás. Es el mundo de la emoción el que nos sirve para evaluar los estímulos que nos vienen del mundo exterior y refiere a conductas cuya realización persigue la supervivencia del individuo y de la especie.

## PLACER Y CASTIGO

El cerebro humano, en realidad todo cerebro, codifica las funciones de la recompensa y el placer y aquellas otras del miedo, el castigo y el dolor. La actividad de las primeras y la ausencia de las segundas se equiparan, en su más amplio espectro, con el sentimiento de estar vivo y querer estar vivo. ¿Cómo se corresponde todo esto con nuestro cerebro? ¿Dedica nuestro cerebro, por igual, su anatomía y sus circuitos, sus espacios y, en definitiva, el tiempo de su funcionamiento a la recompensa que al castigo? Digámoslo ya: definitivamente no. Las áreas de nuestro cerebro dedicadas a elaborar los sistemas de recompensa son más grandes y en general nuestro cerebro dedica más tiempo a su funcionamiento. No podía ser de otra manera. Es más, el cerebro lucha y trabaja por evitar el funcionamiento de ese otro cerebro que es el que procesa la información sobre dolor y castigo. A ese dualismo funcional se dedica nuestro cerebro límbico, nuestro cerebro emocional. De él dependen fundamentalmente nuestra supervivencia, nuestro equilibrio personal, nuestro razonamiento y coherencia, nuestra relación con los demás, nuestros valores humanos e incluso nuestro sentido último de la existencia.

En efecto, en el hombre, como en el animal, las conductas más elementales o más básicas, aquellas que tienen que ver con la ingestión de agua o alimento o la satisfacción sexual, son conductas tendentes a neutralizar un estado de malestar. La realización de conductas como beber cuando se está sediento, comer cuando se está hambriento, protegerse del frío o de un intenso calor, defenderse de los depredadores, el juego, la actividad sexual, la protección de las crías, etc., son conductas que se llaman motivadas, porque lo que las causa mueve al individuo a realizarlas. Precisamente, la realización de estas conductas y la consecución de sus objetivos se obtienen porque resultan agradables, producen sensación de bienestar; es decir, son recompensantes o placenteras. Y es de esta forma como el placer sirve a las necesidades del organismo. Valenstein (1973) ha señalado que, «con excepción de la actividad reproductora, no hay nada más esencial para la supervivencia de una especie que el éxito de sus miembros en obtener todo aquello que es beneficioso y placentero y evitar todo aquello que es injurioso o dañino».

Hablar de recompensas y castigos conlleva siempre hablar de emoción y sentimiento. Efectivamente, los sistemas de recompensa y castigo son en realidad parte del mundo emocional del individuo. ¿Qué duda cabe que algo motivador va siempre acompañado de emociones y sentimientos, y al revés, que las emociones pueden ser altamente motivadoras? Damasio (1999) lo asocia así:

Emociones y sentimientos están estrechamente unidos a las conductas que son necesarias para la supervivencia. La ingesta de alimentos, evitar el peligro, la búsqueda de las condiciones más ventajosas tanto físicas como sociales, la reproducción, etc., no son posibles sin las señales complejas que las emociones y los sentimientos proporcionan a los individuos.

Rolls (1999), en su teoría de la emoción, conecta motivación y emoción de una manera más estructurada. Así, señala:

En orden a entender las bases neurales de la emoción, debemos considerar los mecanismos cerebrales envueltos en los procesos de recompensa y castigo y también en el aprendizaje de los estímulos provenientes del medio ambiente asociado a ellos y desde luego a los procesos en los que esta asociación termina.

Precisamente una recompensa esperada que no llega crea frustración y de alguna manera castigo. Por el contrario, un castigo perdonado crea una sensación de bienestar o recompensa.

#### RETOMEMOS LA HISTORIA DE LA NARANJA

Ya dijimos que al ver la fruta en el árbol, una naranja en nuestro caso, los mecanismos cerebrales que procesan esa visión de la naranja la analizan y dividen en sus muchos componentes como forma y color, entre otros. Y también dijimos que en un paso último de síntesis todos los elementos de la naranja volvían a ser integrados en un percepto único: aquel de naranja. Pues bien, hasta este último nivel de conjunción o unión y elaboración como objeto único, la visión de la naranja es procesada de una forma «aséptica», es decir, sin ninguna connotación o significado de bueno o malo, placentero o aversivo.

Y a partir de aquí la información entra en el sistema límbico o emocional. Y es en él donde esta información sensorial, fría y objetiva (el percepto naranja) se colorea afectivamente. La naranja, un perro, una casa, una flor, adquieren un significado más allá de la forma, el color, el movimiento, el sonido. A este nuevo nivel (los circuitos que codifican la emoción), el perro ya no sólo es perro. El perro es bueno o es malo y su visión (fría y objetiva) causa acercamiento o alejamiento en función del color afectivo que proporciona nuestra experiencia emocional previa. De igual forma ocurre en esa convergencia de significados, como la visión del alimento y la aceptación o rechazo del mismo en función del estado de hambre o saciedad del individuo. Precisamente, el sistema emocional codifica en sus circuitos los «estados» de hambre y saciedad en función de la información, entre otras, procedente de los nutrientes circulantes en el organismo, y es así como la reacción emocional a la naranja se «enciende» (hambre) o se «apaga» (saciedad) en función de ese estado.

A nadie se le escapa como experiencia propia que un alimento es atractivo o indiferente según estemos o no hambrientos. O que la hembra resulte especialmente atractiva para el macho si éste está privado de sexo. Precisamente, las bases neuronales de estos fenómenos fueron bien establecidas al demostrarse que las neuronas localizadas a lo largo de las vías y áreas visuales no responden a ningún componente hedónico (de bueno o malo, de placer o de castigo), asociado al estímulo (en nuestro caso a la naranja o el sexo). Es en áreas posteriores a este procesamiento estrictamente sensorial, en el sistema límbico, donde las neuronas responden a estímulos asociados a refuerzos (positivos o negativos) o a componentes emocionales (véase figura 9). Todo esto nos lleva a la conclusión de que el cerebro, inicialmente, procesa información sensorial de una manera desprovista de todo componente emocional, y sólo cuando el estímulo alcanza ciertas áreas, los llamados «circuitos límbicos», es cuando adquiere la tonalidad afectiva.

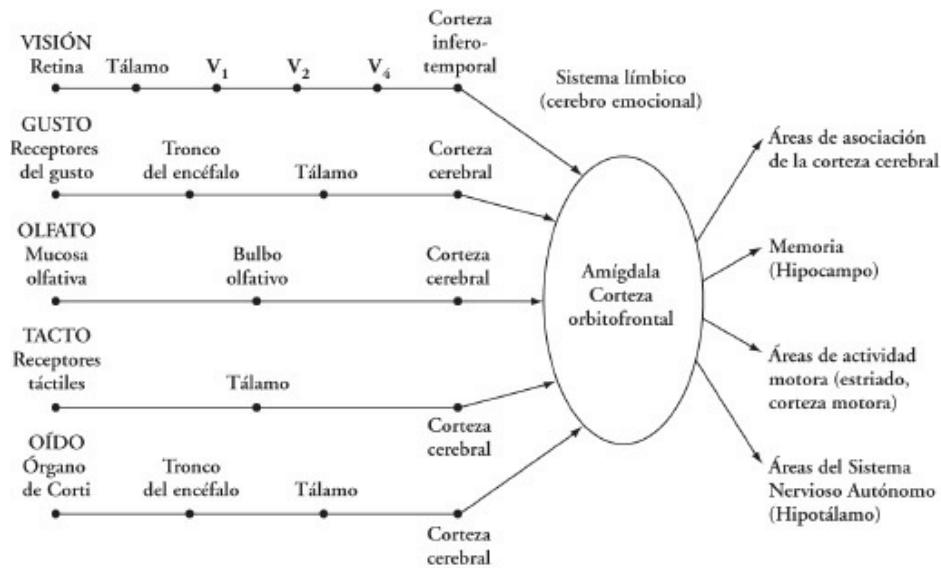


FIGURA 9. Diagrama mostrando la entrada de información sensorial al cerebro emocional y salida de la información hacia áreas corticales de asociación, memoria, actividad motora y actividad neurovegetativa.

El conocimiento de esta secuencia de eventos en el cerebro (desde la entrada de información sensorial hasta la elaboración de la reacción emocional) ha permitido elaborar teorías y modelos computacionales que han ayudado a entender, sobre bases neuronales, estos procesos tan importantes, tanto los del placer como los del castigo, y tanto para el ser humano como para cualquier ser vivo. Precisamente utilizando un estímulo condicionado de «miedo» (castigo) en el animal, un sonido que previamente se ha asociado con un choque eléctrico suave a las patas (estímulo aversivo), Armony y Le Doux (2000) han elaborado un modelo de cómo la información pasa a ser procesada en el cerebro desde (1), su entrada sensorial (sonido condicionado), a (2), las áreas de la corteza cerebral que analizan el sonido, hasta (3), su entrada en el sistema límbico

(amígdala y sus diferentes núcleos), y (4), su salida o respuesta del sistema, como son secreción de hormonas, activación del sistema simpático, activación del sistema musculoesquelético (reflejos), etc. Esto ha ayudado a entender en parte no sólo los mecanismos que operan en el cerebro ante una situación de peligro (dolor), sino también sus consecuencias patológicas, como pueden ser la ansiedad, las fobias, los ataques de pánico, etc. Pero ¿qué sabemos de ese otro cerebro que codifica para los procesos de placer o recompensa?

#### LA RATA QUE DESCUBRIÓ EL PLACER PURO

En 1953, los psicólogos James Olds y Peter Milner, americano el primero y canadiense el segundo, estaban investigando, a través de un electrodo implantado en el cerebro, los efectos de la estimulación eléctrica de la sustancia reticular en animales despiertos. En uno de estos animales (una rata), un error en la implantación del electrodo lo desvió de la trayectoria prevista y lo situó en el séptum, una estructura integrada en el sistema emocional o sistema límbico. Lo sorprendente de este error fue que cada vez que la rata recibía el correspondiente estímulo eléctrico mostraba una conducta de aproximación hacia el lugar de la jaula donde previamente había sido estimulada. Parecía como si el animal quisiera recibir más estimulación eléctrica. Efectivamente, observaciones posteriores permitieron comprobar que el estímulo eléctrico actuaba como un refuerzo positivo, es decir, el estímulo era recompensante o placentero. Fue así como en experimentos sucesivos se pudo demostrar que el animal aprendía fácilmente a moverse en un laberinto con dos brazos en forma de Y griega y prefería correr por el brazo derecho o el izquierdo del laberinto en función de que al final de uno u otro estuviera el estímulo eléctrico. Finalmente, otra serie de experimentos mostró la capacidad del animal para aprender a autoestimular su propio cerebro de forma repetida presionando una palanca con sus patas. Quedaba demostrado, definitivamente, que el estímulo eléctrico del cerebro era recompensante o placentero en tanto que los animales trabajaban espontáneamente para obtenerlo (véase figura 10).

#### CEREBRO Y PLACER

La autoestimulación eléctrica del cerebro parece ser un fenómeno universal. De hecho, ha podido ser evocado en el cerebro de multitud de especies animales, incluido el hombre, entre ellas, peces, delfines, aves, conejos, perros, gatos y monos.

Los estudios en los que, con electrodos, se han explorado diferentes áreas del cerebro han demostrado que varias de estas áreas producen el fenómeno de autoestimulación cerebral. Entre ellas, el bulbo olfatorio, corteza prefrontal, núcleos septales, núcleo acumbens, amígdala, hipocampo, corteza entorrinal, hipotálamo lateral y en general a lo

largo del fascículo prosencefálico medial: desde la banda diagonal de Broca hasta el área ventrotegmental de Tsai, es decir, todas aquellas partes del cerebro que conforman lo que conocemos como sistema emocional o sistema límbico. Diversos estudios neurofisiológicos han trazado en parte las vías activadas por la autoestimulación cerebral y descubierto que hay una estrecha correlación entre las diferentes áreas del sistema límbico, de forma que señales de recompensa hacen funcionar simultáneamente varias de sus áreas, como son principalmente la corteza prefrontal, amígdala e hipotálamo. Estos hallazgos indican que la autoestimulación cerebral de un área del cerebro requiere no sólo de las neuronas activadas por el estímulo del electrodo en su sitio de implantación (por ejemplo, la corteza prefrontal), sino de la actividad de otras neuronas localizadas en otras áreas del cerebro límbico distantes de ella.

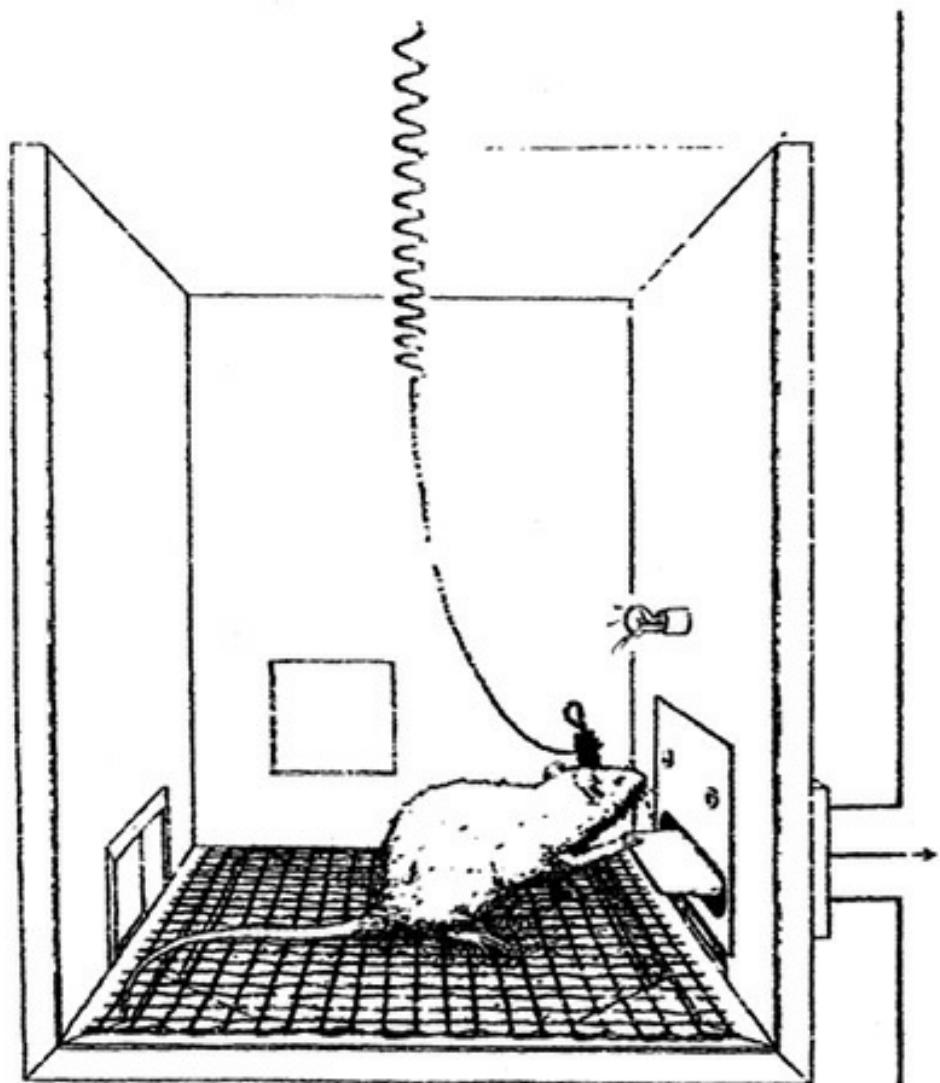


FIGURA 10. Rata apretando una palanca para obtención de autoestimulación cerebral.

## PLACER ARTIFICIAL

Que la estimulación eléctrica del cerebro es placentera parece evidente, no sólo porque los animales trabajan activamente para obtenerla, sino también por las declaraciones verbales del ser humano que ha estimulado su propio cerebro a través de electrodos implantados en el mismo.

Estudios realizados en el cerebro del primate despierto en la década de los setenta mostraron por primera vez y a nivel neuronal la naturaleza y significado de esta estimulación eléctrica del cerebro. Estos estudios pusieron de relieve que las neuronas de una región del hipotálamo lateral, activadas por la autoestimulación eléctrica artificial, también eran activadas por estímulos naturales placenteros. Tales estímulos naturales fueron la visión y el gusto del alimento cuando el animal estaba hambriento. Estos experimentos, de registro unicelular, parecían señalar, efectivamente, que ambos estímulos, el artificial (estímulo eléctrico) y el natural (visión y/o gusto del alimento), comparten el mismo sustrato neural. De esta forma se avanzó la idea, por primera vez, de que el estímulo eléctrico en determinadas áreas del cerebro era recompensante o placentero precisamente porque, de modo artificial, activaba las vías o circuitos que codifican para recompensas naturales. No podía ser de otra manera. Esta serie de experimentos mostraron definitivamente que el sistema límbico posee vías y circuitos que codifican para recompensas naturales.

Evidencias definitivas de que la autoestimulación de ciertas áreas del cerebro es placentera, y que además la sensación experimentada por la estimulación depende de las áreas del cerebro estimuladas, han sido puestas de manifiesto por diversos estudios de autoestimulación en el hombre. Así, el estímulo en áreas como el séptum, corteza prefrontal o el cíngulo ha dado lugar a sensaciones placenteras de tipo sexual. En particular, la estimulación del séptum se ha descrito como sensaciones orgásmicas. Estímulos de la amígdala se han mostrado ambivalentes según la situación del paciente. Así, en pacientes con epilepsia psicomotora, el estímulo ha sido descrito como placentero, en tanto que en pacientes no epilépticos la estimulación fue altamente desgradable y evocadora de sentimientos de castigo, culpa y reacciones depresivas (Delgado, 1976).

### ¿ES DIFERENTE EL PLACER DE UNA BUENA COMIDA DE AQUEL QUE SE OBTIENE EN EL ACTO SEXUAL?

Está claro, pues, que el sistema emocional codifica y da la impronta de bueno o malo a toda la información sensorial que en él entra para ser procesada. Y es así que circuitos de estas áreas participan en la etiqueta de «bueno» para la ingesta de alimentos si se está hambriento pero también para la etiqueta de «bueno» si se realiza un acto sexual cuando se está privado de sexo. Sin embargo, es de experiencia común que la recompensa o el

placer obtenido por la ingestión de un alimento apetecido cuando se está hambriento no es el mismo que el obtenido por la satisfacción sexual. ¿Cuál sería ese sustrato específico que los diferencia? Por pronto, los diferentes tipos de estímulos sensoriales, tanto visuales y táctiles como otros, ya son diferentes en uno y otro caso, y es posible que la entrada de esa información diferente entre, sin embargo, en un sistema cerebral de recompensa único que daría la impronta placentera inicial, inespecífica del estímulo, y sólo después otros circuitos aportarían el matiz diferencial que en nuestro ejemplo sería lo distintivo entre la comida y el sexo. Alternativamente es posible que el estímulo sensorial tras pasar el umbral de la amígdala ya sea procesado en circuitos específicos y diferentes que desde el principio den esa conciencia de placer diferente que se experimenta en el caso de la ingesta de alimento o actividad sexual, o más allá el variado registro de recompensas que nos lleva desde esos placeres profundos y básicos relacionados con la supervivencia del individuo y de la especie a aquellos otros que, como los sonidos de una bella sinfonía o las bellísimas formas de una escultura de Rodin, nos transportan a esos conocimientos encendidos que llamamos sentimiento.

#### EL LIMBO DE LAS EMOCIONES

La información sensorial del mundo que nos rodea entra, pues, en ese sistema del cerebro que codifica para castigos y recompensas. Hay un claro límite o borde entre las áreas que procesan la información sensorial y aquellas otras en las que esta información adquiere la impronta emocional. El conjunto de estas últimas conforma lo que se conoce como sistema límbico (véase figura 11).

El sistema límbico tiene múltiples áreas, núcleos y circuitos que, en parte, ya hemos mencionado. De todas ellas, dos destacan por su importancia estratégica (anatómica y funcional) y por la gran cantidad de estudios experimentales que a ellas se han dedicado. Éstas son la amígdala y la corteza prefrontal. Junto a ellas también destacan la corteza cingulada y el hipotálamo.

La amígdala es una estructura cerebral que se encuentra implicada en el procesamiento emocional que evalúa el significado biológico (color emocional) de toda la información sensorial entrante en el cerebro. De hecho, la amígdala recibe información de todas las modalidades sensoriales, tanto gusto y olfato como tacto, vista y oído, una vez que las correspondientes áreas corticales han procesado dicha información. Es decir, la amígdala recibe información sólo de las áreas corticales sensoriales que ultiman el proceso perceptivo como un objeto único y completo. Además, la amígdala no sólo representa el primer paso de entrada de información al sistema límbico, sino que también tiene conexiones de vuelta con todas las áreas que procesan la información sensorial, incluso con las áreas que procesan la información en sus primeras etapas. Es de esta forma como la amígdala puede tener un control en el procesamiento mismo de esa información sensorial en todos sus niveles.

La amígdala es un área donde se realizan las asociaciones entre los llamados refuerzos primarios y secundarios; es decir, aquellos (los primarios) que por naturaleza tienen propiedades de refuerzo, como, por ejemplo, la naranja si se está hambriento, y aquellos otros (secundarios) que por sí mismos no son reforzantes (una luz o un sonido) pero que si se asocian con el refuerzo primario (alimento) adquieren (asociación por aprendizaje) propiedades de refuerzo con su correspondiente significado.

Consecuentemente, las lesiones de la amígdala impiden que los animales puedan asociar estímulos visuales o de otro tipo con refuerzos primarios (sean éstos de recompensa o castigo) y con ello tener respuestas emocionales normales. Así, por ejemplo, las lesiones en esta estructura impiden a los primates tener una respuesta emocional ante estímulos que normalmente producen respuestas de placer (alimento) o agresivas (visión de una serpiente) y se vuelven, por tanto, animales mansos. Por otra parte, se ha podido comprobar que muchas neuronas de la amígdala del primate, que reciben aferencias visuales, responden a la visión de rostros o caras, sean éstos de personas o de otros primates. Pero lo más interesante es la demostración en humanos de que lesiones de la amígdala producen un impedimento no en reconocer a quién pertenecen las caras (un hombre o una mujer), sino al mensaje emocional de las mismas. Un paciente con lesión de ambas amígdalas puede reconocer a qué amigo o familiar pertenece la cara que se le presenta en una fotografía, pero es incapaz de detectar si tal cara contiene una expresión de alegría o miedo (Adolphs *et al.*, 1994). Estos pacientes, además, tampoco son capaces de reconocer la entonación emocional cuando se les habla (Scott *et al.*, 1997). En apoyo a estos hallazgos están los estudios recientes en seres humanos utilizando tomografía por emisión de positrones (PET) e imagen por resonancia magnética (MRI), mostrando que el flujo sanguíneo en la amígdala aumenta (una clara señal de activación) cuando los sujetos miran fotos, dibujos o pinturas con un contenido fuertemente desgradable (Morris *et al.*, 1996) o cuando se les pide que evoquen recuerdos conscientes de sucesos con un fuerte componente emocional o evocados durante el sueño REM (Breiter *et al.*, 1996).

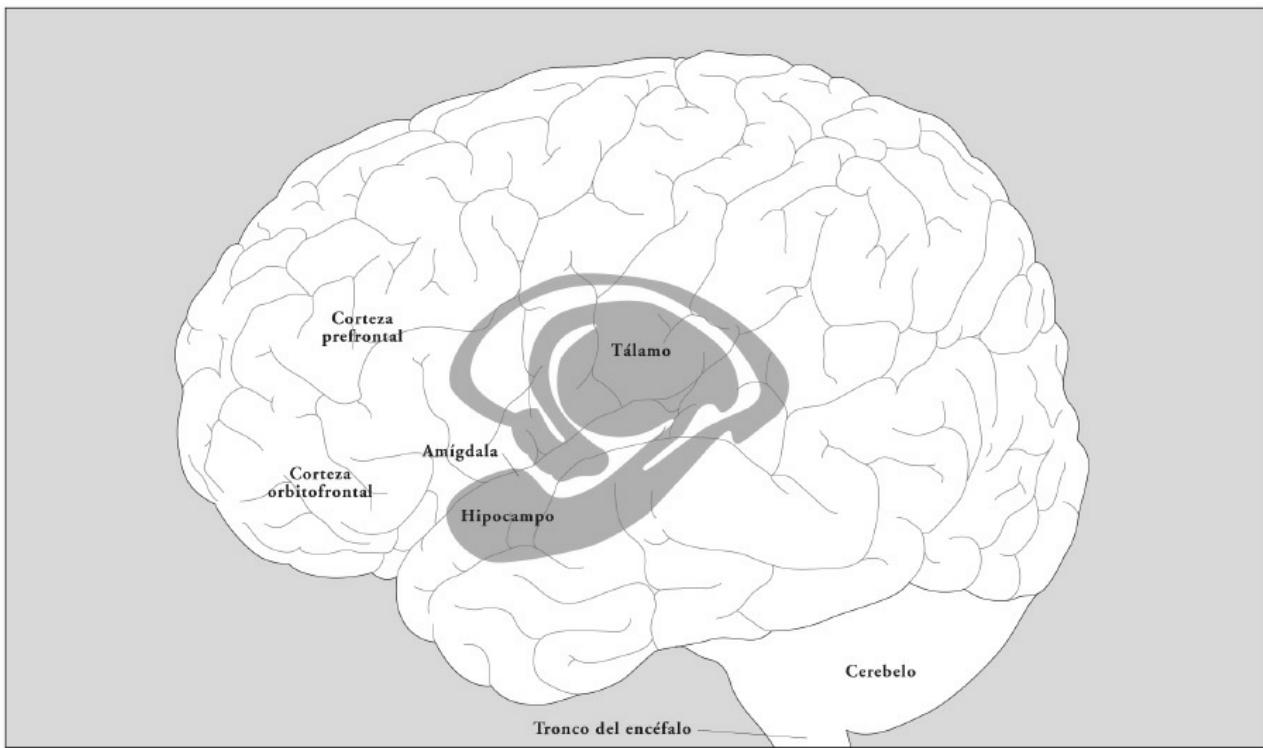


FIGURA 11. Cerebro emocional. Estructuras del sistema límbico: corteza orbitofrontal, amígdala e hipocampo.

Es más, lesiones de la amígdala también impiden las memorias emocionales que son implícitas, es decir, aquellas que no son aprendidas ni evocadas mediante un proceso consciente verbal y explícito. Al hablar de la memoria en el capítulo 6 veremos que hay memorias que sólo se expresan en actos de conducta, por ejemplo, saber o no saber montar en bicicleta. Posiblemente recibir un buen golpe por una caída durante el aprendizaje de montar en bicicleta o una asociación de castigo o frustración durante ese proceso, del que no hayamos sido conscientes, ha podido generar una memoria implícita que se expresa en actos emocionales como no querer montar más en bicicleta o cierta fobia a las bicicletas. Estas mismas lesiones, sin embargo, no parecen interferir con el tipo de memorias conscientes explícitas, es decir, aquellas que podemos evocar en imágenes o contar a alguien porque «sabemos» de ellas, como por ejemplo aquel accidente de coche que tuvimos hace varios años. Todo ello sugiere finalmente que la amígdala es un área importante en la evaluación emocional de la información sensorial.

Por su parte, la corteza prefrontal y, en especial, la corteza orbitofrontal contienen circuitos neuronales, donde igualmente se realizan asociaciones del tipo estímulo-refuerzo. En particular, una de las funciones de esta área del cerebro ha sido relacionada con la desconexión de asociaciones estímulo-refuerzo realizadas con anterioridad. Es decir, desconectar situaciones, objetos o personas previamente unidos a connotaciones emocionales. Ello provee a esta área del cerebro de la capacidad de adaptarse a los cambios permanentes que se suceden en el mundo emocional del individuo. Lesiones de esta área del cerebro producen consecuentemente cambios en la conducta emocional,

como, por ejemplo, persistencia en la relación y lazos sentimentales que ya se han roto en la realidad, falta de afecto por los demás o poca reacción emocional y completa despreocupación de cuanto acontece alrededor del individuo o la planificación de futuro.

El famoso caso de Phineas Gage es muy ilustrativo en este sentido. Un individuo que como resultado de un aparatoso accidente sufrió daños en sus lóbulos frontales. Gage, persona considerada y querida por sus compañeros de trabajo, tras el accidente se tornó grosero, emocionalmente desinhibido y desajustado en sus relaciones sociales, irrespetuoso e irresponsable, y tan pronto diseñaba un plan de futuro como lo abandonaba para comenzar otro. Se ha sugerido, además, que esta área del cerebro y sus circuitos son el depósito de las situaciones vividas junto a experiencias emocionales únicas del individuo a lo largo de toda su vida. La lesión de esta área justifica claramente el tremendo impacto que posee en la vida de una persona.

Es experiencia común (ya lo hemos señalado a propósito de la amígdala) que las emociones, como las percepciones, pueden ser evocadas desde dentro del cerebro, bien por un recuerdo o un sueño (sueño paradójico o sueño de movimiento rápido de los ojos, REM). Una estructura del sistema límbico, la corteza cingular, que, al igual que la amígdala y la corteza prefrontal (de las que recibe e integra información), forma parte de los circuitos límbicos emocionales, parece principalmente relacionada con la generación de este tipo de emociones; es decir, aquellas evocadas internamente (sueño o recuerdo) sin entrada directa de información sensorial externa que las provoque. Es posible que la corteza cingulada sea un área de interfase de entradas de información emocional (procesadas por otras áreas límbicas, con la amígdala y la corteza prefrontal) y salidas de acción motora, es decir, de ejecución de una conducta determinada.

Finalmente, el hipotálamo es el área cerebral que, junto con otras áreas del sistema límbico, procesa y efectúa la salida de información hacia el sistema neuroendocrino y neurovegetativo. Es decir, el hipotálamo activa todas las respuestas corporales generales que hemos descrito con anterioridad ante una reacción emocional, como son la liberación de hormonas y la activación de todos los aparatos y sistemas del organismo conducentes a preparar a éste y responder ante una situación de alarma o peligro. También esta estructura participa en la salida de información hacia estructuras motoras con los ganglios basales o áreas del tronco del encéfalo y contribuye a la respuesta conductual inconsciente que realiza el organismo vivo ante una reacción emocional.

## HACIENDO RESUMEN

Resumamos, pues, este capítulo en la misma línea de argumentación con la que comenzamos, indicando que nuestro sistema emocional es la guía que da luz e ilumina todos nuestros planes y sentido para seguir vivos. La emoción es el ingrediente que permite el encendido de la conducta. Nada se aprende a menos que aquello que ha de ser aprendido nos emocione y nos motive, es decir, algo que tenga un significado importante

para nosotros, incluso en el plano de lo más sublime. Pero incluso desde la neurobiología y la neuropsicología sabemos hoy que no hay planes que se estructuren en el abstracto y la frialdad de la corteza cerebral sin el filtro emocional. Sin el fuego emocional previo los planes son desintegrados, mal coordinados y sin mantenimiento ni realización en el futuro. A lo largo de toda su vida, el ser humano necesita de otros seres humanos para construir, modelar y controlar ese fuego emocional que le permita ser «humano». Pero también a lo largo de esa vida, el hombre tiene unos períodos en la construcción de su cerebro emocional que son más importantes que otros. Hay períodos tempranos en el desarrollo y a lo largo de toda la vida en los que, dependiendo de las funciones de que se trate, éstas pueden quedar impedidas o alteradas para siempre si la información ambiental no moldea el cerebro emocional de modo adecuado en el momento adecuado (Mora, 2000).

Lo que sí es aparente y claro es que ningún ser vivo trabaja, hace algo, si no es alrededor de la consecución de recompensas y evitación de todo aquello que le es desagradable o frustrante. Ningún animal trabaja o realiza un acto de conducta a menos que éste tenga o esté asociado a recompensas. Y esto es tanto en cautividad como en la selva. Cuando vemos a un animal, cualquier animal, desarrollar sus destrezas aprendidas en un circo, por muy habilosas que éstas sean, como aquel caballo inteligente capaz de hacer operaciones matemáticas y dar el resultado de sus cálculos con el acertado golpe de patadas sobre el suelo, el animal recibe una recompensa, un dulce, con cada acierto. Y también en la selva. Toda conducta está relacionada con la obtención de comida, bebida, sexualidad o juego que sirve de recompensa.

¿Y qué ocurre cuando hablamos del hombre? ¿Hay alguna actividad humana en la que, como trasfondo último, no encontremos una recompensa, sea ésta consumatoria (comida, bebida o sexualidad), sea el juego o la más excelsamente espiritual, como pueda ser la creación matemática, literaria o musical o la contemplación religiosa? ¿Qué es incluso una de las más altas conductas humanas, como bien pudiera ser la conducta altruista de entrega a los demás seres humanos pobres, desvalidos y enfermos, como hizo Teresa de Calcuta, sino la búsqueda de Dios a través de la íntima satisfacción, es decir, «sentirse bien»? ¿Qué es ese sentimiento de satisfacción tras el agotamiento físico de todos los días sino la recompensa o el placer íntimo que produce ese, por otra parte, noble e inusual tipo de conducta?

Claramente, al final de todo esto están los mecanismos emocionales del cerebro que, anclados en los arcanos del tiempo evolutivo, lo justifican. Los sistemas de recompensa están ahí codificados en lo más profundo de cada cerebro. Son los sistemas que logran la supervivencia de los seres vivos, los que dan los colores emocionales que tiene la vida. Querer vivir, querer seguir vivo todos los días en todo el amplio espectro de significados que se quiera, significa activar estos sistemas del cerebro. Cuando tal cosa no ocurre, el día y todo lo que nos rodea se apagan, se borronan, se tornan un cuadro estático pintado en gris, ni siquiera blanco y negro. Es la depresión. Y con ello la apatía, el

suicidio y la muerte.

## ¿PUEDE UN SER HUMANO CRECIDO ENTRE CHIMPANCÉS TENER UNA CONDUCTA HUMANA?

Cuando nos preguntamos sobre si el cerebro contiene programas para el lenguaje, ¿debemos investigar sólo el origen de nuestra capacidad de pronunciar palabras o tenemos que intentar buscar cómo expresamos ese flujo o caudal de ideas con significados?

J. Z. YOUNG  
*Programs of the brain.*

Cuando el pensamiento lleva a la acción, me veo obligado a conjeturar que, de algún modo, mi pensamiento cambia los patrones operativos de las actividades neuronales de mi cerebro. Así pues, el pensamiento acaba por controlar las descargas de impulsos de las células piramidales de mi corteza cerebral y finalmente las contracciones de mis músculos y los patrones de conducta que se derivan de ahí.

JOHN C. ECCLES  
*El yo y su cerebro.*

La historia de John Ssabunnya es muy parecida a aquella otra de Johan que relaté en *El reloj de la sabiduría*. John es un niño que nació en Uganda y que al parecer desapareció cuando apenas tenía cuatro o cinco años. Es un caso bien estudiado del que no parece existir duda de que escapó por alguna causa a la jungla y sobrevivió gracias a la protección e integración que tuvo en una colonia de monos. Varios años después, a un grupo de mujeres que recogía leña en un claro de la selva le llamó la atención que uno de los monos que merodeaban por allí, corriendo, dando saltos y gritos como los demás, no tenía pelo en el cuerpo. Al observar más de cerca el animal, descubrieron que era un ser humano. John fue posteriormente «cazado» y separado de la colonia de monos. Estaba lleno de parásitos y desnutrido. Era incapaz de andar erguido, lo hacía con brazos y piernas. Pronunciaba extraños sonidos que luego se comprobó que los monos reconocían. Y así fue como ingresó en el orfanato estatal de Kampala, donde demostró un comportamiento huidizo. Al parecer, no entendía la lengua que aprendió en sus primeros años y prefería la compañía de los monos a la de las personas. En la descripción original se pensó que se trataba de un niño con un serio retraso mental (como sin duda debía serlo para los estándares normales de su edad). Tras años de aprendizaje sensorial, motor y social, John sigue teniendo problemas motores y de relación con las personas y muestra una actitud vital de tono depresivo. Con 14 años, y tras haber permanecido separado de los monos durante muchos años, un grupo de expertos quiso comprobar la verdad de su historia y llevó al niño a visitar a un grupo de monos de la misma especie que aquellos con los que él vivió algunos años. Al parecer, la reacción del muchacho fue sorprendente y dejó impresionados a los científicos. John

sabía cómo comunicarse con los animales y se encontraba familiarmente en su compañía.

¿Qué hace que nos desenvolvamos del modo tan fácil con que lo hacemos en nuestro mundo cotidiano, desde vestirnos por las mañanas, conducir un coche, abrir la puerta del despacho, teclear con rapidez en el ordenador, saludar a alguien con las manos y con nuestros gestos faciales, hablar y escribir, y hasta jugar con enorme habilidad y coordinación de movimientos el partido de tenis del mediodía? ¿Y qué hace, por el contrario, que todo esto sea un imposible para un niño crecido en el más crudo ambiente de la selva? Simplemente, el aprendizaje de actos motores y en un ambiente en el que nuestro cerebro graba los programas adecuados a una edad adecuada.

Nacemos con la potencialidad de realizar cualquier acto motor, cualquier acto de conducta (porque eso es al fin y a la postre un acto motor, es decir, la contracción de nuestros músculos esqueléticos capaces de realizar movimientos), pero su precisión y finura sólo son posibles por el aprendizaje. John, sin duda, debió de ser enormemente hábil en actos motores capaces de hacerle correr o trepar a un árbol o luchar por el alimento o comunicarse verbalmente con sus compañeros los monos, no se podría explicar de otra manera su supervivencia en un medio tan hostil. Desgraciadamente, sin embargo, el medio ambiente del que aprendió sus actos motores no era el más adecuado para un ser humano de nuestro mundo occidental.

#### DE LA AZADA AL VIOLÍN

Nuestro acontecer en el mundo es gracias a la posibilidad de expresarnos. Esta expresión, bien sea hablar, saludar con las manos o tocar el piano, es gracias al correcto funcionamiento y coordinación de una serie de estructuras localizadas a lo largo y ancho del cerebro. Desde el nacimiento, el ser vivo, sea un animal o el hombre, se apresta a la tarea de aprender y ensayar constantemente actos motores. El hombre, en particular, no nace con nada aprendido. Ciertamente, se nace con la potencialidad de hablar, de realizar un acto motor, pero la suavidad y precisión de los movimientos que desarrolla un ser humano son sólo posibles con el aprendizaje y la repetición constante; de ahí la importancia del medio ambiente en que se vive. La capacidad del cerebro de orquestar los movimientos posibles con los 44 músculos de los brazos y manos y sus muchos cientos de unidades motoras en cada uno de ellos tiene un repertorio casi tan infinito que va desde lo tosco de manejar una azada hasta la finura brillante de tocar con un violín los *Aires gitanos* o el *Zapateado*, de Pablo Sarasate.

La adquisición de nuestras habilidades motoras presentes (en el adulto) es fruto de un preprograma grabado en nuestro cerebro durante la infancia, aun cuando su funcionamiento adecuado está en un constante entrenamiento a lo largo de toda la vida. Estos preprogramas que actualizamos en cada acto motor no sólo se pueden grabar durante los primeros años de la infancia, sino también durante la vida adulta. Aprender y

ejecutar bien el juego del golf, tocar el piano o teclear correctamente las letras del teclado de un ordenador son buenos ejemplos de adquisición de preprogramas motores, que mucha gente aprende cuando adulta, y su perfeccionamiento nunca acaba, sino que se actualiza y se mantiene gracias al ensayo y entrenamiento constantes. Nunca, sin embargo, una tarea motora grabada cuando adulto llega a las habilidades exquisitas que se alcanzan cuando la misma tarea se aprende de niño. Por ejemplo, tocar el piano.

## LA GRAMÁTICA UNIVERSAL

El lenguaje es uno de los fenómenos más fascinantes aparecidos en el hombre. Fenómeno de tan alto grado de éxito biológico que no en vano existen más de 6.000 lenguas habladas en el mundo. Pero ¿qué sabemos de ello en relación con el cerebro? La localización de los circuitos cerebrales para el habla está, en un porcentaje elevado de seres humanos, en el hemisferio cerebral izquierdo. Algunos individuos, pocos, tienen estos mismos circuitos localizados en ambos hemisferios o en el hemisferio cerebral derecho. En personas diestras (y que tienen sus áreas del lenguaje en el cerebro izquierdo), daños tempranos (primeros años de la vida) de ese hemisferio izquierdo pueden dar lugar al desarrollo del lenguaje en el hemisferio cerebral derecho. Es posible que desde el nacimiento y en esos primeros años haya una equipotencialidad de ambos hemisferios para el lenguaje. Parece que hacia los 4-5 años, el lenguaje se ha lateralizado completamente al hemisferio cerebral izquierdo (Fimura, 1967).

¿Pero de qué hablamos al hablar del lenguaje? ¿Cuál es el origen ontogénico del lenguaje humano? ¿Traemos un lenguaje con nosotros al nacer, innato, aún rudimentario, como traemos el hambre o la sed o la capacidad burda para movernos? Quizá conviniese a este respecto especificar, desde el principio, al tratar del lenguaje en relación con el cerebro, los dos pilares conceptuales básicos que sostienen la idea de éste, al menos en su análisis más elemental. Primero, referir a nuestra capacidad de emitir sonidos (un acto motor) con un contenido simbólico, es decir, las palabras, que tienen un significado (semántica). La riqueza de las palabras constituye el vocabulario o léxico. Por otro, la unión de palabras en frases, con las que transmitimos un mensaje en el que además del contenido semántico de las propias palabras (significado) está la ligazón entre ellas acorde a unas reglas (sintaxis), con lo que se puede proporcionar un nuevo sentido y significado. Pongamos un ejemplo: utilizando las mismas palabras no es lo mismo decir «Pedro golpea la pelota» que «la pelota golpea a Pedro» (con las mismas palabras se construye un mensaje diferente según el ordenamiento que éstas tienen en la frase). Segundo, entender lo que nos dicen con palabras, o el conjunto de palabras (frases); es decir, convertir o descifrar en nuestro cerebro el sentido y significado de un mensaje que se transmite por la acción puramente sensorial que produce bien el sonido (escuchar hablar) o la visión (leer un escrito).

Noam Chomsky ha propuesto que el ser humano posee al nacer, por tanto de modo

innato, genético, la potencialidad de desarrollar los circuitos cerebrales que codifican la sintaxis, es decir, las reglas que gobiernan la estructura del lenguaje. Sintaxis o gramática serían el vehículo de cualquier lenguaje y, por tanto, independientes del significado de los sonidos (palabras) que transportan y su significado. Es la idea de un sistema o reglas de gramática o sintaxis universal en el cerebro humano lo que le hace capaz, a diferencia de cualquier otro animal (incluidos para Chomsky los primates y sus capacidades lingüísticas), de aprender cualquier lengua o idioma. Este sistema sería el fundamento o el soporte inexcusable sin el cual el aprendizaje de un idioma sería imposible. Para Chomsky, pues, esas reglas básicas son aportadas por el cerebro del ser humano al nacimiento.

#### ¿TUVO EL LENGUAJE SU ORIGEN HACE DOS MILLONES DE AÑOS?

El lenguaje humano es más que simplemente la comunicación. El lenguaje es un sistema cognitivo que permite al hombre clasificar las cosas de este mundo, ponerles un orden y, por ende, hacerlo más manejable. Su origen es una historia apasionante. El lenguaje simbólico siquiera más elemental se estima que apareció con el *Homo sapiens*, no hace más de 100.000 años. Debió de comenzar con la socialización de los humanos, es decir, la etapa de creación de la agricultura (tras ser cazadores y buscadores de plantas comestibles). Sin embargo, el lenguaje más rudimentario, en cualesquiera forma y conformación, y a juzgar por los registros fósiles dejados por nuestros antecesores los homínidos, debió ya de tener lugar en el *Homo habilis*, hace de esto entre dos y tres millones de años. Efectivamente, las dos áreas principales del lenguaje en la corteza cerebral (áreas de Broca y Wernicke) parecen ser reconocidas por primera vez en este homínido.

Philip Tobias (1977) sostiene que:

En el *Homo habilis*, las impresiones que el lóbulo frontal dejó sobre la parte interior de los cráneos fósiles analizados muestran claramente una prominencia muy marcada que se corresponde con la posición del área de Broca. Aspecto que no se puede reconocer en los cráneos del *Australopitecino africano*. Pero también en el *Homo habilis* se pueden reconocer las huellas que dejaron los giros supramarginal y angular que forman parte del área de Wernicke o área posterior del lenguaje.

Estas observaciones son cruciales para sostener la hipótesis del nacimiento del lenguaje hace 2-3 millones de años muy poco después de que empezaran a aparecer los utensilios de piedra fosilizados. Todo esto nos lleva a imaginar que el *Homo habilis*, en quien los paleoantropólogos hallan características culturales claras, debió ya de emitir sonidos de comunicación con rudimentos lingüísticos.

Por tanto, un nuevo conjunto de sonidos, aquellos del habla articulada, debieron ser oídos en África hace unos dos millones de años y con ello un nuevo nivel de organización comenzó en la evolución de la vida sobre la tierra (Tobias, 1997).

## MEMES Y REPLICADORES

El vocablo «meme» fue puesto en circulación por Richard Dawkins con cierta fortuna y proviene del griego *mimene*, que refiere a aquello que se imita. Dawkins señala así que un meme es aquel concepto, historia o invención que se repite constantemente a lo largo de generaciones a través de un proceso de replicación. Este proceso de repetición contiene además un proceso de selección en el que con el tiempo sólo sobreviven algunos conceptos o historias, pero no otros (principio darwinista). Pareciera que entre genes y memes hubiera una cierta idea conceptual. Blackmore (1999) lo aclara:

Los genes son información almacenada en las moléculas de ADN y replicados por un proceso de copiado químico de una alta fidelidad. En contraste, los memes son mucho más variables (incluyendo las historias orales, textos escritos, acciones y artefactos) y son copiados por una gran variedad de mecanismos de copia altamente imprecisos y poco fidedignos.

Los memes, pues, son copiados (imitados) y se reproducen (repetidos) introduciendo con ellos ciertos cambios. Basados en estos conceptos, muchos pensadores sostienen que el lenguaje progresó de una manera acelerada por la copia selectiva de muchos memes con valor adaptativo. Blackmore (1999) afirma que:

Esta historia comienza cuando nuestros antecesores se volvieron capaces de imitar, quizás hace de esto dos o dos millones y medio de años. Si la teoría de los memes es correcta, los primeros memes se produjeron en cuanto alguien pudo imitar y por tanto (utilizando la comunicación rudimentaria del lenguaje) seleccionar y comunicar nuevas formas de cazar, o transportar alimento o hacer ropas o cestas [...] y los memes empezaron a competir por ser copiados.

Y así, en este proceso de copia, se fueron seleccionando sonidos y construcción cada vez más capaces de crear y escoger mensajes más útiles para la supervivencia de la especie. El lenguaje, pues, progresó en un diálogo entre los procesos de selección y replicación y la construcción de un cerebro cada vez más exigente en estos procesos.

## BROCA, WERNICKE Y GESCHWIND

¿Cuáles son las áreas cerebrales que procesan los diferentes aspectos del lenguaje de las palabras? El lenguaje, en el 99% de las personas (la mayoría diestras), está localizado en

el hemisferio izquierdo, al igual que la capacidad de realizar gestos de manos y cara. ¿Tiene esto algo que ver con el origen del lenguaje, es decir, con que éste comenzara por gestos como yo mismo he señalado en otra parte a propósito del habla emocional? (Mora, 2001).

El análisis del lenguaje, desde la perspectiva del cerebro, es toda una historia de más de un siglo de hallazgos y vicisitudes realizados por neurocirujanos, neurólogos, neuropsicólogos, psicólogos y psiquiatras en pacientes con lesiones cerebrales. Hoy se sabe, a medida que los estudios cognitivos y neuropsicológicos desmenuzan los componentes que participan en la generación del habla, que múltiples áreas del cerebro, sensoriales, motoras y de asociación, participan en esa complicada tarea de producir el lenguaje oral, escrito o gestual y de signos.

En 1861, el cirujano francés Paul Broca presentó en la Sociedad Francesa de Antropología los resultados de la autopsia del cerebro de un hombre que durante años sufrió debilidad muscular en toda la parte derecha de su cuerpo y había perdido casi completamente el habla. El cerebro de este paciente, que era conocido como TAN porque al parecer era ésa la única palabra que era capaz de pronunciar, mostraba una lesión clara del lóbulo frontal izquierdo. El daño cerebral se localizó en lo que ahora se conoce como el área de Broca, que se corresponde con el área 44 de Brodmann. Como se ha podido comprobar después en múltiples casos, con esta parte del cerebro dañada hay (en un porcentaje alto de seres humanos) una casi completa incapacidad para articular palabras (hablar), lo que se conoce como una afasia motora. Las afasias, como la propia palabra indica (afasias, del griego *a* = no y *phasis* = habla), son trastornos del lenguaje. Dependiendo de la lesión concreta de que se trate y en cada paciente, el habla se puede reducir a ser una expresión de estilo telegráfico y de largos silencios casi «como las primeras frases de los niños» hasta sonidos sin aparente significado.

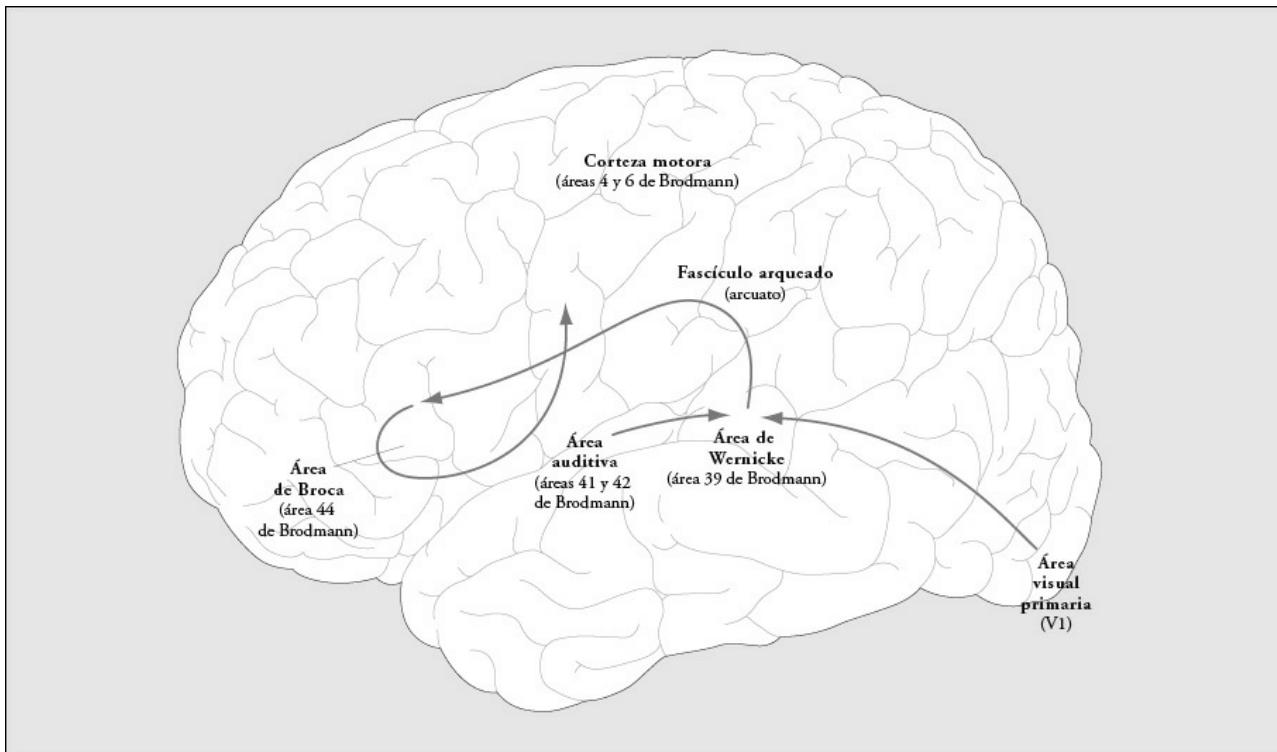


FIGURA 12. Áreas relacionadas con el lenguaje en el cerebro humano.

Muy poco después, en 1874, el neurólogo alemán Carl Wernicke publicó un libro sobre afasias donde describió, por primera vez, la afasia sensorial. Pacientes con este tipo de afasias tienen dificultades en entender el lenguaje hablado y escrito, con menor problema en la ejecución del habla misma. El área del cerebro afectada en este tipo de alteraciones del lenguaje (afasia sensorial) es la corteza cerebral izquierda, cerca de las áreas auditivas (área 22) y localizada en la conjunción entre la corteza parietal y temporal (áreas 22, 39 y 40 de Brodmann). Esta área, de hecho, es mayor en el lado izquierdo que en el derecho, y así es ya desde el nacimiento. Sin embargo, y a pesar de ello y de lo que genéticamente implica para los circuitos del habla, es curioso que si esta área es dañada durante los primeros años de vida, el niño desarrollará los mecanismos de entendimiento del habla utilizando el cerebro derecho.

Estos datos sobre los aspectos motores y sensoriales del habla han generado muchos modelos. De todos ellos quizás destaca el modelo de Geschwind (1970) (véase figura 12), en el que se propone que el lenguaje escrito o hablado es interpretado, tras pasar la información desde las correspondientes áreas visuales o auditivas, en el área posterior del lenguaje, área de Wernicke (área 39 de Brodmann), y tras ello, y a través del llamado fascículo arqueado o arcuato, la información pasa al área anterior del lenguaje, área de Broca (área 44 de Brodmann), en la que esta información se articula en palabras. Después dicha información pasaría al área motora (área 4 de Brodmann) para ser finalmente ejecutada como un acto motor en la parte del homúnculo (de Penfield) correspondiente a los músculos fonadores de la laringe.

## LOS PACIENTES DE WILDER PENFIELD

Una manera directa de comprobar la participación de ciertas áreas del cerebro en la producción del habla estaría en investigar, en un ser humano a cerebro descubierto y despierto y mientras habla, lo que ocurre cuando se interfiere en su actividad neuronal. Esto fue hecho por Wilder Penfield y sus colaboradores en el quirófano. Penfield (1891-1976), neurocirujano estadounidense que desarrolló su labor en Canadá, fue pionero en los estudios sobre estimulación eléctrica en el cerebro de seres humanos despiertos. Efectivamente, en pacientes que iban a ser operados de un tumor o cualquier otro proceso cerebral, como la epilepsia, se estimularon dichas áreas del cerebro con una débil corriente eléctrica a través de un electrodo minúsculo. Penfield encontró que estímulos eléctricos del área motora que representan la laringe o la lengua producen en el paciente vocalizaciones, aun cuando no palabras como tales. Cuando, sin embargo, el estímulo eléctrico se realiza en las áreas anteriores (Broca) o posteriores (Wernicke) del lenguaje mientras el paciente está hablando (relatando una historia o contando una secuencia de números), el paciente se interrumpe en el conteo o en el discurso hablado o lo pronuncia de manera no audible y comprensible. Tras finalizar el estímulo eléctrico, el paciente prosigue su discurso hablando correctamente. Es así como los estudios de Penfield vinieron a confirmar, de una manera muy vaga y general, la existencia de las tres áreas del lenguaje antes descritas.

## DE LOS MODELOS A LA DURA REALIDAD DEL CEREBRO VIVO

Nuestros conocimientos actuales cuestionan muy seriamente este modelo de Geschwind que tanta fortuna ha tenido. El panorama actual puesto de relieve por las nuevas tecnologías de imagen cerebral como el PET, tanto en sujetos normales (Posner y Raichle, 1994) como en sujetos con diferentes tipos de afasias, revela una anatomía y un proceso muchísimo más complejo que aquel modelo y permite creer además que ello desvela la perspectiva de un mundo cerebral todavía más complicado. Por ejemplo, lesiones cerebrales que provocan déficits en la producción del habla (afasias expresivas o motoras) normalmente se localizan en varias zonas de los lóbulos parietal, temporal y frontal. Las afasias sensoriales o receptivas (comprensión del lenguaje) tienen localizaciones todavía más variables en la corteza cerebral. Hay otro tipo de afasias, como aquellas que sólo se manifiestan e implican a la evocación de nombres de cosas y animales, y otras (hay muchos tipos clínicos) que se manifiestan por la incapacidad para la evocación o descripción de verbos.

Los pacientes con afasias para los nombres presentan características clínicas muy curiosas. Son enfermos que no pueden asignar correctamente el nombre a digamos un animal que se le presenta en un monitor. Por ejemplo, si a este tipo de pacientes se les presenta un pato, en vez de decir pato dicen pájaro, o ante un pingüino contestan también

pájaro. Ante la fotografía de una piña responden que es un vegetal o ante el dibujo de una cebra contestan que se trata de un caballo. Estos pacientes presentan una lesión que se localiza en la parte más anterior y medial del lóbulo temporal izquierdo (fuera de las áreas clásicas del lenguaje que están situadas en la región temporal posterior). Está claro que estas áreas son asiento de circuitos o parte de circuitos que tienen que ver, de alguna manera, con la evocación de nombres e involucradas en el proceso de elaboración del lenguaje. Por otra parte, en los pacientes con afasias para evocar verbos, su lesión se localiza principalmente en la corteza premotora frontal izquierda, lo que indica que esta área, de nuevo, participa de alguna manera en la función cerebral que elabora la evocación de formas verbales. Un paciente con este tipo de afasia específica ante la presentación en un monitor de la palabra cavar contestaría «prepararse para ensuciarse». Quizá lo más interesante en estos pacientes es que todos ellos son capaces de hablar, leer y escribir correctamente en el sentido de hacerlo con perfectas estructuras gramaticales. Todo ello nos lleva de nuevo a la idea de que las áreas que participan en la elaboración del lenguaje son mucho más extensas que las áreas clásicas descritas inicialmente por Broca y Wernicke.

Para complicar más las cosas, recientes estudios han mostrado que en muchas personas que poseen un lenguaje perfecto y normal no existe en su cerebro una localización precisa de áreas del lenguaje. Ojemán (1990), en un reciente estudio con 117 pacientes en los que se comprobó la localización de dichas áreas en el hemisferio izquierdo y que fueron estudiados a «cerebro descubierto» en el quirófano por otras causas, descubrió aspectos sorprendentes de la localización cerebral del lenguaje. Por ejemplo, no pudo detectar como tal un área posterior (10% de los casos) ni un área anterior (9% del total de los casos) del lenguaje. Es más, el área clásica de Broca, localizada inmediatamente por delante del homúnculo de Penfield, que representa la cara en la corteza motora, no pudo relacionarse con el lenguaje en un 21% de los pacientes. Tampoco en un 36% de los pacientes pudo relacionarse el habla con el área de Wernicke. Ello claramente nos da una idea del artificio con el que los modelos representan una realidad cuando se trata de representar un proceso y una anatomía como aquella que elabora y gobierna un aspecto cognitivo tan complejo como es el lenguaje.

## LOS CAMINOS CEREBRALES DEL LENGUAJE

Posner y Raichle (1994) hicieron una serie de estudios en estudiantes universitarios sobre la organización del lenguaje en el cerebro utilizando técnicas de imagen (PET). Para ello diseñaron una serie de operaciones relativamente sencillas. Éstas fueron las siguientes. Primero, percepción visual o auditiva de palabras (presentadas en el monitor de un televisor [40 por minuto] o presentadas a través de un auricular); segundo, pronunciar esas mismas palabras ellos mismos (hablarlas), y tercero, que los estudiantes mostraran haber entendido el sentido o significado de las mismas (por ejemplo, una vez

vista u oída una determinada palabra, digamos libro o piano, convertirla en un verbo con el que tenga relación).

En el primer caso, el de la visión de las palabras, los estudiantes, tras ver las palabras en el monitor, e independientemente de si eran palabras con significado (árbol) o sin él (exispepes), las características de las letras produjeron una activación de la corteza occipital de ambos hemisferios cerebrales (áreas visuales). Sólo en el primer caso (palabras con significado) esta activación occipital se siguió de otra en la superficie de la cara interna del lóbulo occipital del hemisferio izquierdo.

El escuchar palabras a través de unos auriculares produjo una activación en ambos lóbulos temporales, derecho e izquierdo, por tanto, una activación, esta vez, en una serie de áreas completamente diferente a las activadas cuando se miran las palabras. De igual modo que en el caso de la visión de las palabras en un monitor, en la activación auditiva hubo diferencia con respecto a las áreas activadas dependiendo de que lo oído fueran sonidos puros (como tonos o vocales) o palabras. Escuchar palabras produjo una activación selectiva del área de Wernicke izquierda (área 39, área angular), activación que no se produjo cuando lo escuchado eran tonos o vocales. Escuchar tonos produjo una activación más localizada en las áreas propiamente auditivas (áreas 41, 42 y 22 de Brodmann). Todo ello sugiere que el área de Wernicke procesa las palabras oídas pero no sonidos no relacionados con ellas y tampoco palabras escritas (algo equivalente a lo que hemos visto con la activación de la cara interna del hemisferio izquierdo del lóbulo occipital para las palabras escritas).

Para estudiar las áreas cerebrales involucradas en la generación del habla, se pidió a los estudiantes que pronunciaran (repitieran) las palabras (nombres) que habían visto en la pantalla u oído a través de los auriculares. En este proceso, la actividad del cerebro se detectó principalmente en:

1. corteza motora primaria (en la parte del homúnculo correspondiente);
2. corteza motora suplementaria (área más bien de programación motora);
3. las porciones más mediales del cerebelo (cuya función posiblemente sea la de coordinación de la actividad motora);
4. activación de la corteza insular (área localizada en el fondo de la fisura de Silvio) (no se sabe bien qué papel desempeña en este proceso esta última área, pero parece que tiene que ver con la automatización del habla, es decir, cuando se trata de nombres ya previamente aprendidos).

Ninguna de las dos áreas clásicas del lenguaje, áreas de Broca y Wernicke, se vio activada en este test de generación de palabras.

Cuando a los estudiantes se les pidió que elaborasen un verbo a partir de un nombre que acababan de ver u oír (por ejemplo, ante la palabra *libro* se puede elaborar el verbo *leer* o ante la palabra *piano* el verbo *tocar*), hubo una activación de varias zonas corticales frontotemporales de la corteza cerebral izquierda, junto con una activación

selectiva del hemisferio cerebelar derecho. En concreto se produjo:

1. Activación de una gran área que incluye el área clásica de Broca. La interpretación actual de que la activación sea de un área frontal muy grande, mucho más allá del área 44 de Brodmann, sugiere que esta activación frontal recluta a muchas y diferentes subáreas que contribuyen conjuntamente a la labor del procesamiento verbal.
2. Activación de la corteza cingulada anterior en ambos hemisferios (un área por encima del cuerpo calloso en la mitad interna de cada hemisferio). Se sugiere que esta área, durante la generación de un verbo, a partir de un nombre determinado bien pudiera participar en seleccionar la forma verbal para ese determinado nombre entre las muchas posibles. Por ejemplo, para la palabra piano antes seleccionada, se podría utilizar tocar, música, Mozart, etc.).
3. Activación de un área en la corteza temporal posterior izquierda (que incluye el área de Wernicke). Efectivamente, si el verbo es generado a partir de una palabra oída, la activación es muy centrada en el área de Wernicke, no así si el verbo es generado a partir de una palabra leída en un monitor. En este último caso, la activación se realiza en un área que es posterior al área de Wernicke. La conclusión es que la corteza temporal posterior izquierda debe contener subáreas que tienen que ver con el procesamiento de muchos aspectos puntuales del habla.
4. Y finalmente activación del cerebelo derecho. No se sabe bien la función de esta área cerebral en el lenguaje. Parece que participa en el aprendizaje de aspectos motores nuevos, como es el caso de la pronunciación de palabras que se le presentan al sujeto por primera vez, lo que indica que el cerebro puede y de hecho utiliza vías y funciones diferentes dependiendo de que el proceso mental que se realiza sea nuevo o haya estado previamente realizado y aprendido.

Efectivamente, cuando a los estudiantes se les pidió que elaboraran un verbo a partir de nombres previamente mostrados en la pantalla del ordenador (y, por tanto, conocidos) o nombres mostrados por primera vez (no conocidos previamente), las áreas activadas del cerebro fueron diferentes. Así, para las palabras nuevas se produjo una activación de la corteza cingulada (bilateral), corteza frontal y corteza temporal (izquierdas) y cerebelo (derecho). Para las palabras conocidas (previamente mostradas) se observó sólo activación en la corteza insular de ambos hemisferios.

Es evidente que estas tecnologías no permiten ver la temporalidad y secuencia en el reclutamiento de los circuitos que distribuidos en el cerebro elaboran los complejos ingredientes del lenguaje, pero sí es un paso importante en poner de manifiesto la complejidad del proceso.

¿SE NACE SABIENDO JUGAR AL GOLF O PELAR UNA PATATA?

¿Qué ocurre en nuestro cerebro cuando estamos delante de una pelota de golf con el palo en nuestras manos dispuestos a golpearla? O para el caso en el que nunca hemos aprendido nada de golf, ¿qué sucede en nuestro cerebro cuando ante una patata y un cuchillo nos aprestamos a quitarle la piel, a pelarla? No debiera sorprendernos mucho el que ante dos situaciones de conducta (motoras) tan aparentemente diferentes, se recluten circuitos motores y funcione el cerebro de una manera muy similar. Efectivamente, en ambos casos se trata de lo que los fisiólogos llamamos acto motor voluntario, es decir, aquel acto de conducta que conscientemente yo quiero realizar. En ambos casos entran en juego varias áreas del cerebro, como son la corteza cerebral motora, el cerebelo y los ganglios basales. En estas estructuras existen circuitos cuya integración temporal permite la ejecución de todos estos tipos de actos motores que hemos venido en llamar voluntarios. Es en estas estructuras que se graban los programas motores en los primeros años de la vida gracias a un entrenamiento constante de prueba-error. En otras palabras, se nace con la potencialidad de realizar un acto motor, como ya hemos señalado, pero la posibilidad de su realización con precisión y ajuste sólo es posible gracias al aprendizaje motor.

Y es así que desde el nacimiento el niño sigue un constante e incansable entrenamiento tratando de ajustar su vista y su tacto a la conducta de alargar el brazo, mano y dedos y medir, además, la fuerza adecuada que aplica a sus músculos para asir las cosas de su entorno. Si se observa a un niño de uno a dos años, veremos que su vida es un constante entrenamiento sensorial y motor; es decir, está constantemente mirando y tocando todo aquello que existe a su alrededor. Por ejemplo, si el niño coge un juguete en sus manos, sea éste una pelota o un cubo coloreado, observaremos que tras cogerlo y explorarlo mínimamente lo lanza lejos de sí. Tras ello gatea hacia el juguete e intenta cogerlo de nuevo. Y así reiteradas veces hasta el cansancio. Con esa conducta, las áreas cerebrales involucradas en estos procesos van cambiando sus estructuras sinápticas y, por decirlo en términos informáticos, va grabando programas cada vez más aproximados a la realización de la función requerida, de manera que cada vez existe más ajuste entre el objeto y el intento del niño de cogerlo con las manos.

El final de esta historia es evidente. Cuando usted, de adulto, ve un vaso de agua sobre una mesa a la que está sentado y decide cogerlo con su mano, lo hace con tan exquisita precisión que no se equivocará jamás al extender su brazo y alcanzarlo suavemente. Lo cogerá con la fuerza precisa, desarrollada por los músculos de sus dedos, que no será ni poca, que se le caiga de la mano, ni mucha, que se le rompa, sino la suficiente y precisa para que el vaso quede firme entre sus dedos y además al acercarlo a la boca no derrame el agua. Tanto coger el vaso como llevarlo a su objetivo, que son sus labios, requieren de una programación del cerebro precisa indicando qué músculos y qué movimientos hay que ejecutar para realizarlo. Pues bien, desde que usted ve el vaso hasta que bebe el agua, toda la maquinaria de ciertas áreas cerebrales pone a funcionar programas que ya están previamente grabados en ellas. Es lo que usted ha grabado tras

ímpuros esfuerzos de aprendizaje, de pruebas acierto-error desde el nacimiento hasta los tres años y después ha actualizado constantemente cuando adulto.

Cuando alguna de las áreas que codifican para ejecutar estos programas motores se lesionan, se ve el resultado de esta programación defectuosa en su ejecución. Un enfermo cerebeloso puede intentar alcanzar el vaso pero no lo hará con precisión, ya que su mano se puede quedar parada antes de llegar al vaso o pasar más allá tropezando con él. Además, el temblor de estos pacientes, cada vez que deciden realizar un acto motor voluntario, hará que se desparrame el agua del vaso. Es más, el vaso puede fácilmente estallarle en las manos a este tipo de pacientes debido a que no controlan la fuerza con que lo cogen con su mano. Por el contrario, un enfermo con lesión en los ganglios basales, el paciente con enfermedad de Parkinson, podría hacer esas mismas operaciones bastante bien, ya que aun cuando tiene temblor, éste es de tipo espontáneo y se reduce de modo importante cuando realiza un acto motor voluntario. El problema en estos pacientes es, sin embargo, su falta de iniciación de los movimientos voluntarios: Al pedirle a un enfermo de Parkinson que caminara, éste contestó: «Sé lo que me pide y quiero hacerlo, pero no puedo iniciar espontáneamente el movimiento de mis piernas».

¿Cuáles son estas áreas del cerebro que controlan todo este proceso tan sencillo y enormemente complejo a la vez como es coger un vaso de agua y llevarlo a la boca? ¿Cómo está orquestado el funcionamiento entre ellas? Hagámoslo simple y concentrémonos en tres áreas o estructuras cerebrales principalmente: la corteza cerebral motora, los ganglios basales y el cerebelo. El esquema básico de la planificación y ejecución de un acto motor voluntario y las áreas cerebrales que participan en el mismo se presenta en la figura 13.

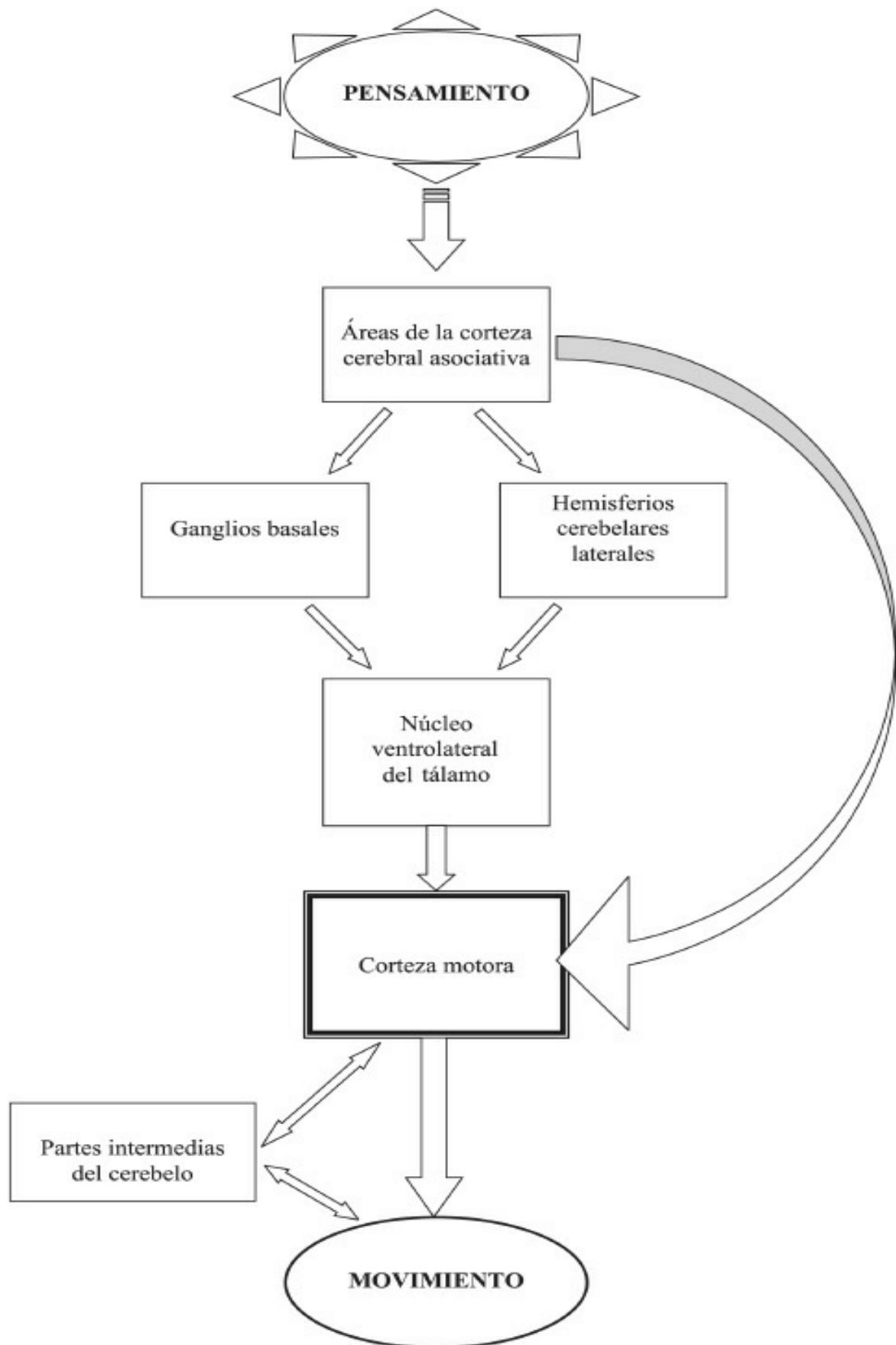


FIGURA 13. Esquema de las áreas cerebrales que participan en la elaboración de un acto motor voluntario.

En las condiciones antes descritas, sean éstas golpear una pelota, coger el cuchillo para pelar la patata o coger un vaso de agua, todo comienza o se pone en marcha con la idea o el deseo de realizar el movimiento deseado (pensamiento). La expresión neurofisiológica de esta idea en el ser humano se registra en unos cambios eléctricos que se suceden en la corteza cerebral. Estos cambios se conocen con el nombre de potencial de preparación. Este potencial tiene ciertas características y, desde luego, es un cambio en la actividad eléctrica de la corteza cerebral iniciado «desde dentro»; es decir, puesto en marcha por el solo deseo del individuo de iniciar un acto motor voluntario. Este potencial se puede registrar aproximadamente casi un segundo (800 milésimas de segundo) antes de que se inicie la contracción muscular que dará lugar al movimiento.

Tras registrarse este potencial inicialmente de modo no específico en casi toda la corteza cerebral (áreas de asociación principalmente) y aproximadamente 50 a 150 milésimas de segundo antes de iniciarse el movimiento como tal, este potencial se concreta o localiza sobre las áreas cerebrales motoras y finalmente en la parte de la corteza cerebral motora que va a iniciar la contracción de los músculos a través del tracto piramidal y la médula espinal, que darán expresión o ejecución al movimiento deseado.

#### EL HOMBRECITO MOTOR

En la corteza cerebral motora (área 4 de Brodmann) localizada en la corteza frontal, delante de la cisura de Rolando o cisura central, se localizan las áreas motoras. En esta área es donde se ejecutan los programas motores finales. Todos los músculos del cuerpo están representados en ella, desde los músculos de la cara y la cabeza hasta los de las piernas y los dedos de la mano. De hecho, todo nuestro cuerpo está representado en los circuitos neuronales de esta área del cerebro. Sin embargo, esta representación no es proporcional al tamaño de las diferentes partes de nuestro cuerpo. Por ejemplo, las manos y la cara están desproporcionadamente representadas, son muy grandes si se comparan con otras zonas de nuestro cuerpo, como, por ejemplo, el torso, el pecho o las piernas. Ello tiene que ver con la precisión con que las diferentes partes de nuestro cuerpo ejecutan un movimiento. ¿Quién podría dudar de la enorme importancia y necesidad de nuestras manos para expresarnos en el mundo comparado a nuestra espalda o nuestras posaderas? El cerebro, por tanto, sus áreas motoras, dedica más espacio y fisiología a las partes que son más importantes y menos a las que lo son menos. Esto lo descubrió el neurocirujano estadounidense Wilder Penfield (del que ya hemos hablado al principio de este mismo capítulo) al estimular estas áreas motoras con un electrodo y provocar con ello contracciones de los músculos del cuerpo. A esta representación se la conoce como el homúnculo (hombre deformado) motor de Penfield (véase figura 14).

Esta área motora principal, el área 4 de Brodmann, se encuentra asistida por otras áreas motoras vecinas que son las cortezas motoras denominadas suplementaria y motora (área 6 de Brodmann) y que ayudan al área motora principal a predeterminar el programa motor final que va a ser ejecutado.

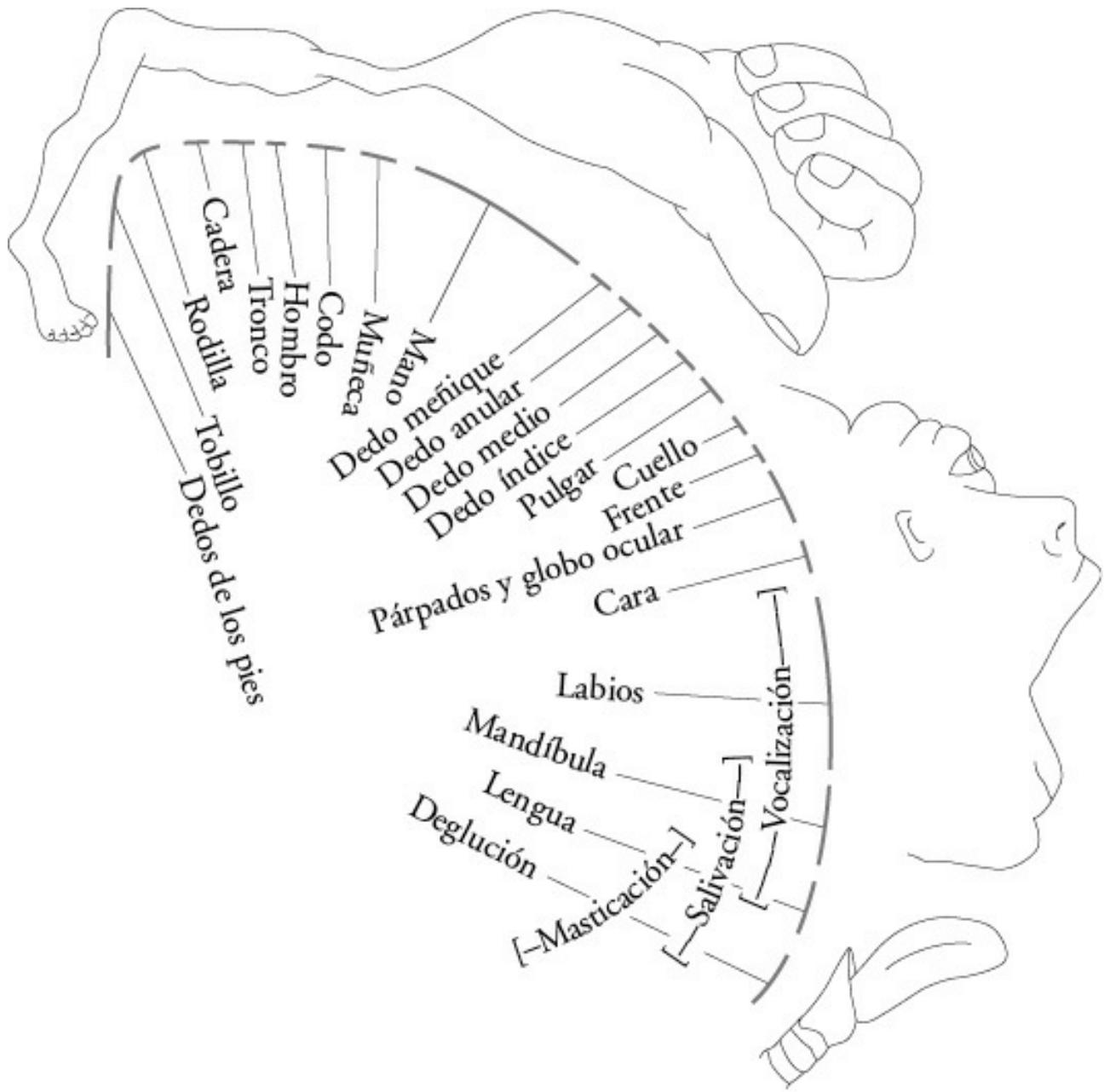


FIGURA 14. Homúnculo motor de Penfield.

YO TE LO PIDO Y TÚ ME LO PRESTAS

Precisamente, durante todo ese largo transcurso del «potencial de preparación», desde

que el individuo piensa y decide hacer un determinado acto de conducta consciente y la inicia, la corteza cerebral, por expresarlo de alguna manera, tiene el tiempo suficiente de buscar en el cerebro los preprogramas más adecuados para decidir qué músculos, con qué coordinación y con qué fuerza de contracción serán los adecuados al movimiento que se desea realizar. Hoy se piensa que los preprogramas básicos de cualquier movimiento voluntario (aquellos que grabamos durante la niñez y actualizamos constantemente cuando adultos) se encuentran grabados en los ganglios basales y el cerebelo (los hemisferios cerebelares). Y así las señales iniciadas en la corteza cerebral asociativa (durante aquel potencial de preparación) son enviadas a los ganglios basales y el cerebelo para su selección de programas y reenvío a la corteza motora.

Es algo así como si la corteza cerebral, conociendo el movimiento que tiene que iniciar y realizar, comenzara un diálogo con los ganglios basales y el cerebelo solicitándoles los programas que tienen grabados de experiencias previas similares y así poder utilizarlos. De esta forma, la corteza motora recibe preprogramas básicos del acto motor a realizar, en el sentido de qué músculos hay que contraer y en qué grado y coordinación de contracción hay que realizarlo, etc. Los ganglios basales y el cerebelo responden de inmediato enviando a las cortezas motoras lo que se les solicita. Y es entonces, en una elaboración final de programa, cuando la corteza motora envía a través de los axones de sus neuronas, el tracto piramidal, la información a la médula espinal y finalmente a los músculos para iniciar así el movimiento. El individuo comienza, pues, el movimiento de su brazo y antebrazo y la apertura de los dedos de su mano para coger el vaso de agua.

#### RECTIFICANDO EL MOVIMIENTO

Durante el tiempo en el que se desarrolla el movimiento voluntario, es decir, mientras se está alargando el brazo y extendiendo los dedos de las manos para coger el vaso de agua, muchas más cosas suceden en el cerebro motor. Ese inicio de movimiento del brazo se realiza gracias al programa final elaborado por la corteza motora, pero este programa motor nunca es perfecto. De esta manera, el brazo nunca alcanzaría el objetivo de una forma precisa y suave como sabemos que normalmente ocurre. Para que tal cosa suceda, el programa que baja desde la corteza motora a los músculos tiene que ser constantemente rectificado y actualizado mientras se está realizando el movimiento. Esta labor también la hace el cerebelo. Efectivamente, a la vez que la información baja por los tractos piramidales a la médula espinal para realizar el movimiento deseado, esta misma información también llega al cerebelo. Se establece así otro diálogo entre corteza cerebral y cerebelo pero de otra naturaleza.

El cerebelo, que es una estructura estratégicamente situada para detectar cualquier movimiento, es un centro de inteligencia superior. Es decir, está constantemente informado de todo lo que sucede en nuestro cuerpo tanto de modo estático (cuando éste

se encuentra en reposo) como dinámico (cuando nuestros músculos realizan un movimiento), y es así que durante aquel movimiento de coger un vaso de agua el cerebro conoce todos los cambios que están ocurriendo en los músculos, en los receptores de la piel, e incluso le llega información visual de cómo se está realizando el movimiento. Precisamente porque el cerebro recibe tanto la información de lo que la corteza motora quiere hacer como la información de lo que realmente se está haciendo tiene la oportunidad de comparar ambas cosas. Si lo que realiza la corteza motora se ajusta a que la mano coja perfectamente el vaso, el cerebro no dice nada. Pero si, por el contrario, detecta a través de todos «sus espías» (los receptores musculares, piel y visión) que la mano no va a coger el vaso de la manera precisa y correcta, entonces el cerebro actúa y avisa a la corteza motora del error y le indica que cambie adecuadamente el programa ya en marcha. La corteza motora rectifica y es así, finalmente, como el movimiento se ajusta con precisión a los objetivos deseados. Precisamente, la lesión de esta parte del cerebro hace que la corteza motora (al no tener este rectificador) duela y oscile en sus movimientos (temblor) y no alcance o se pase en su intento de coger el vaso. El cerebro mismo, muchas veces, ayuda por sus propias vías a la corteza motora en ese acto de rectificación del movimiento voluntario.

Imagínense esos diálogos, no para los ejemplos que acabamos de dar, de coger un vaso, golpear una pelota de golf o pelar una patata, sino para ejecutar y rectificar constantemente, con la velocidad del orden de los milisegundos, los miles de actos motores voluntarios sucesivos y necesarios para yo poder coordinadamente escribir esto mismo en mi ordenador. Las operaciones del cerebro escapan a la imaginación más poderosa.

## TODO LO QUE SIGNIFICA APRENDER Y MEMORIZAR CAMBIA NUESTRO CEREBRO

Nadie ignora que la obra de un pianista, de un orador, de un matemático, de un pensador resulta absolutamente inabordable por el hombre ineducado, cuya adaptación al nuevo trabajo es obra de muchos años de gimnasia mental y muscular. Para comprender este importante fenómeno, se hace necesario admitir, además del refuerzo de las vías orgánicas preestablecidas, el establecimiento de otras nuevas, mediante la ramificación y crecimiento progresivo de las ramificaciones dendríticas y nerviosas terminales...

SANTIAGO RAMÓN Y CAJAL

*Textura del Sistema Nervioso del Hombre y los Vertebrados.*

[...] en los niveles más altos del cerebro, las modificaciones y los cambios son la esencia de su trabajo, como está evidenciado por los procesos de aprendizaje y memoria.

JOHN C. ECCLES

*Understanding of the Brain.*

En la pequeña isla japonesa de Koshima un mono macaco, hembra, Imo, aprendió a limpiar las patatas de arena en el agua. Este mono, muy joven, comenzó lavando y limpiando las patatas que los cuidadores echaban a la arena como alimento. Pronto constituyó en él un hábito. Su madre y sus más cercanos compañeros pronto le imitaron en aquella conducta y luego el hábito se extendió entre otros miembros de la colonia. En aproximadamente los diez años siguientes a aquel suceso, el total de la población de monos jóvenes y de mediana edad de aquella colonia lavaba rutinariamente las patatas antes de comérselas. Aquella generación de monos rhesus murió, pero sus descendientes siguen lavando las patatas que los cuidadores les echan a la arena. Eso es aprendizaje y memoria. Además de memoria individual, memoria colectiva. ¿Qué significado puede tener para un mono limpiar las patatas en el arroyo y que algunos otros monos, con el tiempo, le imiten? ¿Puro juego?, ¿supervivencia? Para algunos antropólogos actuales este fenómeno es también «cultura», es decir, conocimientos transmitidos, no por los genes de los padres a los hijos, sino por la conducta de unos individuos a otros.

También es aprendizaje desaprender una respuesta previamente aprendida. Por ejemplo, si a un mono se le muestra un cacahuete cuya forma no ha visto nunca antes y se le da a comer, rápidamente aprende a reconocer su forma y asociarlo como algo «bueno» (comida), y cada vez que se le muestre se abalanza sobre él, lo coge en sus manos y se lo lleva a la boca. Pero si a ese mismo mono se le muestra el mismo cacahuete y no se le deja cogerlo y esa frustrante operación se repite durante varias veces, el mono rápidamente aprende que aquel cacahuete no representa comida y deja de interesarse por él. El mono ya no asocia el cacahuete con refuerzo.

Quizá más interesante y más significativo sea el siguiente experimento. Si a un mono se le muestra primero una jeringa y luego se le aproxima a la boca y con ella se le da a beber un líquido azucarado, el animal pronto asocia la forma de la jeringa con algo bueno y placentero. El mono, cada vez que se repite esta operación, se abalanza con su mano, coge la jeringa y se la acerca a la boca. A este mismo mono, si tras este aprendizaje, se le muestran de modo alternativo dos jeringas esta vez de colores distintos, una blanca o gris y otra de color azul, conteniendo la primera el líquido azucarado y la segunda una solución salina (que es un líquido aversivo para el animal), al principio responde ante la visión de ambas jeringas como si las dos contuviesen el líquido azucarado. Tras probar el contenido de las dos jeringas varias veces, al cabo de algún tiempo el mono se abalanza sobre la primera jeringa pero no sobre la segunda, que rechaza. El mono ha aprendido claramente a distinguir entre el color de las dos jeringas y dado un significado a cada una de ellas.

Aprendizaje, pues, es el proceso en virtud del cual se asocian cosas, sucesos en el mundo, y gracias a lo cual adquirimos nuevos conocimientos. Llamamos memoria al proceso por el que retenemos esos conocimientos a lo largo del tiempo. Los procesos de aprendizaje y memoria cambian el cerebro y la conducta del ser vivo que lo experimenta. En el ser humano, estos procesos son fundamentales porque son los que permiten transmitir los conocimientos y crear cultura. Estos procesos no son «genéticos» en el sentido de que no se transmiten de padres a hijos, aun cuando vistos desde otra perspectiva sí lo son, dado que estos procesos requieren de los genes de las neuronas para producir la síntesis de proteínas, que es lo que permite el asiento cerebral de las memorias.

La memoria es el acto de almacenar o guardar algo, pero también de rescatar ese algo cada vez que queramos y hacer uso de ello, bien en el contexto de una conversación, bien en un acto de conducta o simplemente en un acto mental consciente mientras estamos tumbados a la sombra de un árbol en verano y dejamos pasar delante de nosotros, en silencio, la película de nuestra vida. Ciertamente, recordar algo es evocar algo almacenado, algo además que puede tener un gran significado, por ejemplo emocional y de castigo (aquel día nunca olvidado cuando niños en que nos caímos por las escaleras) o también emocional y placentero. O aquel recuerdo fijo y permanente que produjo un acto personal determinado. Nos cuenta Wilder Penfield que bajo el estímulo eléctrico de un área del cerebro como la corteza temporal una paciente exclamó: «Creo haber oído a una madre llamando a su niño en alguna parte. Parecía ser algo que sucedió hace años en el vecindario donde vivo». Esto nos lleva a la idea posible de que existe un almacén en el cerebro, un depósito de las memorias, y que éstas puedan ser evocadas, bien por una cadena de sucesos mentales, o bien, como fue éste el caso, por un estímulo artificial, y en ambos casos expresados verbal y conscientemente. Pero ¿es ésa toda la memoria, es decir, la que de modo consciente evoca sitios, lugares y personas? ¿Hay otros tipos de memoria, digamos, inconscientes? ¿Tienen todas las memorias un

componente emocional? ¿Son todas las memorias iguales? ¿Dónde se guardan las memorias en el cerebro? Y ¿cómo se guardan?

## EL RACIMO DE LAS MEMORIAS

La memoria no es una entidad única que está detrás de todo aquello que yo, mi mente, aprende de una manera consciente, sino que hay otros sistemas o tipos de memoria que son inconscientes. Por de pronto, las memorias conscientes refieren a hechos o sucesos ocurridos que podemos evocar y contar, son memorias declarativas (explícitas), por ejemplo, dónde y qué conversación mantuve ayer con un amigo. Este tipo de memoria es la que normalmente refiere, de modo más general, a lo que propiamente es la memoria humana, aquella de la que hablamos todos los días y que se pierde o deteriora con la edad o en enfermedades neurodegenerativas como las demencias. Dentro de este tipo general de memorias explícitas se incluyen muchos otros tipos de memorias dependiendo del tiempo, por ejemplo, que seamos capaces de retener y evocar un suceso. Una de ellas es la memoria «a corto plazo», que nos hace capaces de retener un número de teléfono por un corto periodo de tiempo. Todos tenemos la experiencia de que retenemos en nuestra memoria el nuevo número de teléfono sólo el tiempo que nos permite marcarlo en el aparato y tras ello se olvida. Pero hay otras muchas memorias conscientes, desde las que nos permiten recordar un suceso toda la vida («memorias a largo plazo») como aquellas otras que pueden durar la ráfaga de un segundo y decaen o se pierden del mismo modo («memoria icónica») y en medio, además, tenemos las denominadas «memorias de trabajo» (manipulación temporal de información que nos permite hilar los conceptos que evocamos en el pensamiento y así poder razonar, pensar, etc.).

Por otro lado, tenemos las memorias inconscientes. Memorias que no son como las que acabamos de describir. Por ejemplo, somos capaces de aprender a montar en bicicleta, a escribir en un ordenador o a jugar al golf. Ese aprendizaje es guardado en memoria en nuestro cerebro de una manera clara, tanto que evocamos esas mismas memorias cada vez que queremos montar de nuevo en bicicleta, vamos a jugar al golf o golpeamos las teclas del ordenador. Este tipo de aprendizaje y su correspondiente memoria, mediante el que grabamos en nuestro cerebro ciertas habilidades, no son evocados de modo verbal consciente. La evocación de este tipo de memoria es a través de un acto de conducta, un acto motor. Lo mismo que el otro tipo de memoria (explícita) se evoca relatando un suceso de modo consciente y con palabras, este otro tipo de memoria se evoca sin palabras, mostrando que montamos en una bicicleta o que le damos con certeza a la pelota de golf. Son las memorias no-declarativas o implícitas.

Pongamos otro ejemplo de estas memorias implícitas, no-declarativas. Imagínese que se encuentra sentado delante de una mesa y que sobre la mesa tiene un papel en el que hay dibujada una estrella de seis puntas. Y ahora se le pide que coja un lápiz y que, con

la mayor precisión posible, redibuja los contornos de la estrella. Mientras usted hace eso, nosotros contamos el tiempo que tarda en hacerlo. Cuando ha terminado, se le retira ese papel y se le da otro idéntico y se le pide que, de nuevo, haga la misma operación. Y de nuevo contamos el tiempo transcurrido durante esta segunda prueba. Repetimos esta operación varias veces. Y luego, al cabo de varios días o semanas, le pedimos que haga esa misma operación una vez más. Lo sorprendente es que esta última vez el tiempo que tarda usted en dibujar los contornos de la estrella con precisión es muy corto. O por lo menos lo hace en mucho menos tiempo que la primera vez. Claramente usted no sabe por qué. Ni puede manifestar verbalmente, con palabras, qué ha ocurrido en su cerebro para ahora hacerlo tan deprisa. Simplemente su cerebro ha aprendido y memorizado la tarea, «su cerebro ya sabe (aunque usted conscientemente no) lo que tiene que hacer», y eso conduce a que lo haga más deprisa y con más precisión. Esto es también memoria, pero en este caso implícita no-declarativa. Éste es el tipo de memoria con la que guardamos infinitas cosas cotidianas, de todos los días, desde hacer salsa de tomate o batir huevos en la cocina hasta la rapidez con la que ejecutamos la lectura de un libro.

Pero muchos más tipos de memorias cuelgan de este racimo tan grande que nos permite ser tan versátiles con nuestra conducta en el mundo. Por ejemplo, hay un tipo de aprendizaje y memoria que permite asociar sucesos de los que no somos conscientes, pero de nuevo nuestro cerebro aprende y memoriza y facilita nuestra relación con el mundo. Sirva este ejemplo, observemos un perro hambriento cuando se le presenta un trozo de comida y veremos que el perro saliva mientras le acercamos la comida. Ahora repitamos el mismo experimento y con las mismas condiciones pero esta vez, en lugar de acercar comida al animal, simplemente toquemos una campanilla o un timbre. Veremos que, como era por otra parte lógico esperar, en estas otras condiciones el perro no saliva. Repitamos ahora un último experimento. En éste, cada vez que le acerquemos la comida al perro, hagamos sonar la campanilla al mismo tiempo. Si pasado un tiempo, con la repetición diaria de este experimento, en una ocasión sólo tocamos la campanilla sin aproximar el alimento, observaremos, contrariamente a la primera vez que hicimos esto, que el perro ahora saliva. Está claro que el animal ha asociado timbre con comida y la presentación de uno u otro hace al animal anticipar el alimento y realizar la respuesta de la salivación. El animal ha aprendido y memorizado la asociación de dos estímulos y su correspondiente respuesta a los mismos. De nuevo esto es un tipo de memoria no-declarativa que en el ser humano ocurre del mismo modo y que no es expresable con palabras. Si revisamos nuestras conductas de todos los días, nos daremos cuenta de que hay rincones de nuestra casa, o de nuestra patria chica o del mundo, o muchos sonidos, visiones o tacto de cosas que evocan en nosotros una emoción positiva o negativa no descriptible en palabras ni relacionable ni evocable de modo explícito con sucesos de nuestras vidas. Ello tiene que ver con la evocación de este tipo de memorias implícitas o inconscientes.

Un último tipo de aprendizaje y memoria que vale la pena destacar es aquel por el

que cuando un suceso viene ligado a un acontecimiento emocional tiene tanta fuerza para ser guardado en nuestra memoria. Valga en este caso otro experimento. Por ejemplo, a un animal se le da un pinchazo muy suave sobre la piel o un estímulo eléctrico capaz de evocar una determinada respuesta motora, sea ésta la contracción de un músculo (sin dolor). Si este estímulo se repite varias veces sin más consecuencias para el animal, es decir, que el estímulo no vaya seguido de un daño (dolor) o recompensa (placer), el animal termina no realizando respuesta o conducta alguna ante el estímulo. Esto señala que el animal se ha «habitulado» al mismo. Si, por el contrario, el estímulo sí tiene una consecuencia, sea ésta dolor o placer, entonces la respuesta se potencia, esto es, el animal se «sensibiliza» claramente ante dicho estímulo y aumenta su respuesta. En este último caso, el animal ha guardado en su memoria el significado de aquel suceso, tanto que posiblemente para siempre evite (dolor) o repita (placer) la conducta correspondiente a aquellos estímulos. De nuevo no se necesitan muchas palabras para enmarcar estos procesos de aprendizaje y memoria en la cotidianidad de nuestros días, en particular cuando somos niños.

#### PERDEMOS UNAS MEMORIAS Y GUARDAMOS OTRAS

Si la lectura de un texto se hace todos los días, se alcanza una gran rapidez y fluidez en esa tarea. Precisamente es interesante el hecho de que pacientes amnésicos (que han perdido su memoria explícita, consciente) son capaces, sin embargo, de utilizar y desarrollar este otro tipo de memoria implícita, no declarativa. Por ejemplo, a un paciente amnésico se le muestra una serie de láminas, una detrás de otra, con cierto tiempo de exposición cada una y se le pide que las nombre (el nombre está en la lámina misma). Tras este ejercicio dejamos pasar varios días (2-7) y se repite la misma operación. Entonces es curioso ver que el paciente no recordará haber visto las láminas anteriormente pero evoca los nombres de las láminas más deprisa que la vez anterior. Es más, si a este tipo de paciente se le muestra una versión distinta de las láminas en las que, por ejemplo, donde había un tipo de caballo en una de ellas se le muestra ahora otro tipo de caballo, pero llevando ambas láminas, la anterior y la nueva, el mismo nombre, es decir, caballo, el efecto facilitador encontrado se pierde. Esto indica claramente que el efecto de memoria encontrado está relacionado con las características visuales del estímulo y no con su significado (semántica).

#### HENRY M.

Pero ¿dónde se encuentran en el cerebro todas estas memorias? En 1953, Henry M. (H. M.) sufrió una operación quirúrgica en su cerebro cuyo fin era mejorar una epilepsia intratable. El resultado fue bastante bueno, ya que tras la operación se pudo controlar

médicamente la epilepsia. H. M. tenía entonces veintisiete años. Pero tras la operación algo sorprendente ocurrió en la personalidad de H. M.: perdió su capacidad para recordar cosas. No sólo aquellas que ocurrieron algún tiempo antes de la intervención quirúrgica, sino otras que a uno le suceden todos los días y que se pueden recordar sin ningún esfuerzo. Henry M., por ejemplo, no podía recordar aquello que había hecho sólo unos minutos antes, ni la cara del médico con el que habló, ni la habitación en la que había estado. Su inteligencia, sin embargo, no se vio afectada, tampoco la memoria inmediata (recordar brevemente un número), ni la memoria de todo aquello que fue su vida anterior a la operación pero lejano a la misma, su niñez, etc. H. M. no perdió nunca su propia personalidad.

Para H. M. todos los días son nuevos y diferentes con sucesos, gentes y caras nuevas. Nunca recuerda nada, ni haber visto u oído nada, ni de personas ni de cosas con las que convive todos los días. Una famosa neuropsicóloga, Brenda Milner, estudió el caso de H. M. durante más de veinte años. Relata Blakemore (1977) sobre este estudio:

En una ocasión Milner le pidió a H. M. que tratara de recordar el número 584. El paciente se sentó tranquilo, pensativo, sin distraerse durante unos 15 minutos, pasados los cuales, y para la sorpresa de Milner, pudo recordar el número. Cuando Milner le preguntó cómo lo había hecho, le contestó: Es fácil. Sólo hay que recordar 8; restar 8 de 17 y te quedan 9. Divide 9 en dos partes y obtienes 5 y 4, y ahí lo tienes: 854. ¡Fácil!

Su capacidad de cálculo y su memoria inmediata estaban intactas.

Lo extraordinario es que H. M. era capaz de (además de calcular, aprender y recordar acontecimientos motores) mantener intacta su memoria implícita, aquella que describimos a propósito de montar en bicicleta. Efectivamente, H. M. es capaz de aprender y memorizar cosas que no requieran de la evocación consciente de lo aprendido y memorizado. Si a H. M. se le pide que redibuje con un lápiz los contornos de una figura previamente impresa en un papel, H. M., como todo el mundo, comete muchos errores el primer día, pero el segundo día lo hace mucho mejor y más deprisa. El tercer día lo hace ya bastante bien. Y así va mejorando sucesivamente día tras día. ¿Cómo son posibles estas mejoras tan evidentes de aprendizaje y memoria a lo largo del tiempo en una persona que ha perdido la memoria? Evidentemente, porque guarda intacta en memoria implícita no consciente el entrenamiento y aprendizaje realizados en los días previos. H. M. con la cirugía ha perdido un tipo de memoria, pero no toda la memoria. Lo sorprendente de todos esto es que H. M. realiza la tarea de redibujar los contornos de la silueta cada día como si de algo nuevo se tratara. H. M. no recuerda haber visto la figura el día anterior, tampoco haber realizado el test, ni al médico que le pide que haga la tarea.

Para más abundancia en lo dramático de la situación de H. M., el no tener afectada su inteligencia general le hace ser consciente de su problema, y pide constantemente perdón

por ello. Le atormenta pensar que haya hecho algo molesto o desagradable: «Se da usted cuenta –dice H. M.–, ahora sé lo que hago y estoy con usted. Pero ¿qué he hecho hace un momento? No lo sé. Eso es lo que me atormenta y me preocupa».

#### EL CABALLITO DE LA MEMORIA

Henry M. trabaja actualmente, a sus más de setenta años, ayudando en la investigación científica. Pero ¿en qué parte del cerebro está localizada la lesión que produjo tan aparatoso conducta como para dejar el mundo privado de H. M. reducido a unos escasos minutos? Con las nuevas técnicas de imagen cerebral, como la resonancia magnética, se ha podido comprobar que la lesión en el cerebro de H. M. está localizada en la parte más anterior de la corteza temporal e incluye el hipocampo, pero también la amígdala, la corteza parahipocampal, corteza entorrinal y perirrinal. Otros pacientes con lesiones similares pero en las que el hipocampo no se encuentra incluido no parecen padecer estos problemas tan graves de memoria. Sería, por tanto, fácil admitir que en el caso de H. M. la pérdida de memoria se atribuye, casi completamente, a la lesión bilateral del hipocampo, una estructura que, parecida a un caballito de mar (de ahí su nombre), se encuentra formando parte del sistema límbico, aquel que modula y elabora el mundo emocional.

Esta presunción de que es el hipocampo la estructura clave en la que se depositan las memorias conscientes formadas a lo largo del tiempo proviene de otra serie de evidencias obtenidas por otros tantos casos clínicos. Entre ellos se encuentra el del paciente R. B., que a los 52 años, tras ser operado a corazón abierto, sufrió una isquemia cerebral y desarrolló un síndrome muy parecido al descrito para H. M. R. B. sobrevivió cinco años tras la operación, y al morir se le realizó la autopsia. El análisis de su cerebro reveló que un área muy concreta dentro del hipocampo, la capa denominada CA1, estaba completamente destruida.

Estudios posteriores experimentales en monos han reconfirmado el papel del hipocampo (giro dentado, los campos CA3-CA2-CA1 y el *subiculum*) en las memorias de tipo explícito consciente, así como también de estructuras adyacentes, como son la corteza entorrinal (área 36 de Brodmann) y perirrinal (área 35 de Brodmann), y la corteza parahipocampal y la propia amígdala. Todas estas estructuras parecen ser piezas fundamentales, junto al hipocampo, para el depósito de memorias conscientes y constituyen lo que se conoce como el Sistema de Memoria del Lóbulo Temporal Medial (SMLT). Sin embargo, los casos de H. M., de R. B. y de otros tantos pacientes demuestran, a su vez, que el hipocampo, aun cuando esencial para formar memorias, no es el depósito definitivo de éstas. (Recordemos que H. M. es capaz de evocar recuerdos anteriores a su operación quirúrgica, pero que éstos eran más nítidos cuanto más alejados estuvieran del momento del acto quirúrgico.) Ello claramente indica que tras la formación de las memorias en el hipocampo y muy probablemente su depósito en esta

estructura durante algunos años, éstas pasan a ser guardadas en otras partes del cerebro. Parece ser que la corteza cerebral es el depósito definitivo de las memorias que constituyen el mundo casi permanente de nuestra individualidad.

#### DE CÓMO LA MEMORIA SE HACE PERMANENTE

Empezamos a conocer los mecanismos por los cuales la memoria declarativa consciente se hace casi permanente en nuestro cerebro. Ese sistema que ya hemos mencionado del lóbulo temporal medial (*Medial Temporal Lobe*) en el que el hipocampo es el área central parece ser el sustrato que guía la memoria desde sus propios depósitos hacia las representaciones más estables y permanentes en la corteza cerebral. Se ha propuesto que cada vez que se recuerda una cosa, sea esto un paisaje, la cara de un familiar o un amigo o nuestra comida favorita, hay un tráfico de información que va desde estas áreas del lóbulo temporal medial a la corteza cerebral, creando nuevas conexiones en esta última. Precisamente debido a la tardanza de esta transferencia (posiblemente años, y tras repeticiones constantes) es por lo que las memorias todavía almacenadas en el hipocampo se pierden cuando éste es lesionado (amnesias retrógradas), conservándose sin embargo aquellas otras memorias que ya han sido transferidas por completo a la corteza cerebral. Por ejemplo, si somos adultos, las memorias de juventud y niñez ya han terminado y completado el proceso de transferencia a la corteza cerebral, y es así como la lesión del hipocampo, en el caso de H. M. y más recientemente del paciente E. P., no afectó a estas memorias antiguas.

El caso de E. P. es también ilustrativo. E. P. era un técnico de laboratorio que sufrió una encefalitis herpética simple, a raíz de la cual quedaron dañados los hipocampos de ambos hemisferios. La destrucción de los hipocampos fue casi completa, y sus resultados fueron, de alguna manera, muy similares a los antes referidos en el paciente H. M. E. P. padecía una amnesia tan severa que era incapaz de reconocer a sus examinadores incluso tras cuarenta visitas a su casa en un solo año. Pues bien, cuando a E. P. se le pidió que describiera la región donde pasó su niñez y de la que se había marchado hacía cincuenta años, fue perfectamente capaz de hacerlo topográficamente. Ello, una vez más, indica que aun cuando el hipocampo es fundamental en la adquisición de memorias, no es el depósito último de las mismas.

Estudios con resonancia magnética nuclear están mostrando que dependiendo de la extensión de las lesiones en este sistema del lóbulo temporal medial, así son las amnesias producidas. Por ejemplo, lesiones muy restringidas a la CA1 producen una amnesia retrógrada limitada a unos pocos años; en cambio, lesiones más extensas o de todo el sistema temporal medial producen amnesias retrógradas que incluyen muchos más años. Hay datos indicando que la corteza entorrinal participa en la consolidación de ciertas memorias en un proceso que puede durar hasta veinte años. No olvidemos que la corteza entorrinal es el portal de entrada y salida entre la formación hipocampal y la corteza

cerebral y que tiene, por tanto, una posición anatómica única y privilegiada para guiar el desarrollo de las representaciones de la memoria hacia la corteza cerebral. La teoría actual de la consolidación a largo plazo de la memoria postula que la evocación de memorias muy antiguas se hace definitivamente sin la participación del sistema temporal medial (puesto que estas memorias ya están registradas en la corteza cerebral como resultado de un refuerzo en y entre las conexiones de dicha corteza cerebral).

#### PERO ¿DÓNDE SE HACEN PERMANENTES LAS MEMORIAS?

Una pregunta clave es aquella de dónde, en la corteza cerebral, se almacenan las memorias definitivas o a largo plazo o antiguas. Al parecer cada área de la corteza cerebral, cada circuito de la corteza cerebral, lleva intrínseca a sus redes neuronales la memoria. Por ejemplo, la memoria perceptiva de nuestro propio cuerpo a través del tacto se encuentra en las áreas somatosensoriales de la corteza parietal y también en las áreas motoras de la corteza frontal. De igual modo guardamos la memoria perceptiva visual de nuestro cuerpo en las áreas visuales. Y así de otros sistemas sensoriales como la audición. Pero también los sistemas distribuidos de la corteza de asociación almacenan (igualmente de modo distribuido) las memorias permanentes de nuestro propio cuerpo. En este sentido tenía razón Joaquín Fuster al hablar de «la memoria de los sistemas» más que de «sistemas de memoria» del cerebro.

Todo ello nos lleva finalmente a la idea, por otra parte ya señalada, de que el almacenamiento definitivo de memorias conscientes (las que manejamos todos los días, ensamblando acontecimientos que tuvieron lugar en nuestra niñez o hace treinta años con aquellos otros que nos suceden ahora) tarda muchos meses, e incluso años, para que ese diálogo entre hipocampo y corteza cerebral se realice. A este proceso se le conoce como *consolidación*. Probablemente la consolidación y evocación de las memorias de nuestra infancia, si somos ya adultos, se realizan en aquellas mismas áreas de la corteza donde inicialmente se produjo el proceso de aprendizaje. Por ejemplo, para el procesamiento (aprendizaje) y memorización inicial de las caras hay diferentes áreas de la corteza visual que son activadas en los tests de reconocimiento de caras (además de otras áreas, como los hemisferios laterales del cerebelo). Los modelos recientes computacionales de consolidación de la memoria sugieren que las huellas iniciales de memoria, en el momento en que se realiza el proceso de aprendizaje, se establecen tanto en la corteza cerebral como en el sistema temporal medial. Cada vez que el evento mnemónico (de memoria) es evocado o recreado a través de una interacción con el sistema temporal medial, ocurre un pequeño aumento de la fuerza de las conexiones sinápticas en la corteza cerebral del área correspondiente. En términos neurobiológicos, esto quiere decir que el aumento de la fuerza de los registros de memoria es equivalente a los cambios en la eficacia sináptica entre conexiones cortico-corticales en la corteza cerebral y conexiones entre la corteza cerebral y el sistema temporal medial.

## LOS CAMINOS SECRETOS DE LA MEMORIA

Los procesos de memoria posiblemente conlleven una cooperación entre los sistemas conscientes y los no conscientes al menos en lo que se refiere a su expresión en la conducta. Está claro que en el caso de las memorias declarativas conscientes un suceso cualquiera que nos suceda, como conocer a una persona que nos impacta, puede modificar nuestra conducta y lo sabemos, somos conscientes de ello. Este tipo de memorias pueden ser evocadas, traerlas a la conciencia, a la mente, bien como pensamiento sin más, o como una imagen visual. Frente a ello, sin embargo, los otros tipos de memoria de los que ya hemos hablado, las no-declarativas, son inconscientes, y en ellas el conocimiento adquirido se expresa en los propios mecanismos de la conducta sin que nunca pueda aparecer conscientemente ninguna traza de esta última memoria. En otras palabras, un suceso que nos ocurra y del que hagamos memoria no consciente se registra en áreas del cerebro que luego pueden modificar nuestra conducta, y es así como sin saber por qué hay personas, lugares, cosas, animales que nos pueden resultar desagradables (debido a que alguna vez sucedió algo relacionado con ellos de lo que no guardamos un registro de memoria consciente). Un aspecto importante de estos acontecimientos es que la persistencia de estos cambios de conducta, como señala Squire, «a lo largo de los años del individuo no quiere decir ni siquiera que siga existiendo el registro (memoria) de aquel suceso. La conducta simplemente ha cambiado» (Squire, 1998). Y, efectivamente, lo que puede quedar en el cerebro son simplemente unos patrones de conducta cambiados y con los que se reacciona fóbicamente ante ciertos objetos o sucesos. Por todo ello se puede entender que a lo largo de la vida diferentes experiencias den lugar a cambios o actitudes personales expresadas en preferencias, respuestas condicionadas, hábitos o habilidades especiales.

### ¿POR QUÉ NO RECORDAMOS NADA DE NUESTROS DOS PRIMEROS AÑOS DE VIDA?

Todo lo que acabamos de decir tiene especial relevancia además para entender cómo sucesos ocurridos a una edad muy temprana, antes de los dos años, puedan tener una especial significación en la conducta futura del individuo sin que de ello se guarde un recuerdo o memoria consciente escondida entre los entresijos del cerebro. Y es que las áreas del cerebro que registran todo acontecimiento consciente, aquel al que estamos atentos y que ya hemos visto que dura unas 100 milésimas de segundo, no se desarrollan de modo completo hasta casi los dos años de edad. Esto último justifica que nadie guarde recuerdo consciente de lo sucedido en su vida antes de esa edad. Sin embargo, nuestro cerebro sí registra, no en forma de memoria consciente, pero sí de memoria inconsciente (expresada como ya he indicado en la conducta), sucesos ocurridos a esa temprana edad. Larry Squire (1998) lo explica maravillosamente:

Por ejemplo, si una experiencia desagradable con un perro (que le muerda) ocurre durante los dos primeros años de la vida de un niño, antes por tanto de que aparezcan en este niño los sustratos neurobiológicos y los mecanismos para que se establezca la memoria declarativa a largo plazo, la experiencia puede resultar en una fobia persistente a los perros, pero nunca tendrá el cerebro del niño ningún registro «de memoria declarativa» de lo que realmente sucedió. En estas circunstancias, la presencia de una «memoria no declarativa» no conlleva la posibilidad de descubrir ningún recuerdo consciente ocurrido en los primeros dos años de la vida; lo inconsciente no puede volverse consciente. La conducta puede cambiar cuando adulto, pero a través de adquirir nuevos hábitos que reemplacen o sustituyan a los viejos, o uno puede volverse lo suficientemente consciente de la existencia de un hábito (malo) que puede con el tiempo cambiarlo a través de la práctica o limitando o evitando los estímulos que lo provocan. Sin embargo, uno no se vuelve consciente del contenido de memoria de un hábito en el mismo sentido que uno conoce el contenido de una memoria declarativa. La memoria declarativa es independiente de, y paralela a, la memoria no declarativa.

Todo ello tiene explicaciones que alcanzan de lleno a la psicología y el psicoanálisis y sus bases neurobiológicas. (Remito al lector al capítulo 9, a propósito del psicoanálisis, ¿queda espacio en el cerebro para el psicoanálisis?)

Hemos hablado de memorias y de los sistemas cerebrales que son su base. También hemos hablado algo de las memorias no declarativas y de la relación con las primeras. Pero ¿qué sabemos de ese otro nivel de conocimiento que son las neuronas y las moléculas de estas memorias?, ¿es la mecánica molecular diferente para cada tipo de memoria?, ¿comparten mecanismos neuronales similares?

#### LA PLASTICIDAD DEL CEREBRO: JAMES, TANZI Y CAJAL

Ya lo hemos dicho. El cerebro es un órgano plástico, cambiante, y los mecanismos de aprendizaje y memoria son los que hacen que tal cosa ocurra. Precisamente, el concepto de plasticidad hoy se utiliza para señalar los cambios que se realizan en las neuronas y sus conexiones como expresión del funcionamiento del cerebro en su interacción constante con el medio ambiente que le rodea. El término procede del latín *plasticus*, y éste del griego *plaiticós*: capaz de ser modelado. Al parecer, fue inicialmente introducido por Williams James para referir la susceptibilidad de modificación del comportamiento humano. Cajal, ya en 1895, utilizó este término en su teoría sobre el crecimiento perfeccionado de las conexiones interneurónicas para señalar los cambios que se suceden en el cerebro adulto como consecuencia de la memoria. Decía Cajal (1904) en su libro la *Textura del sistema nervioso del hombre y los vertebrados*:

Si en el amnésico y el anciano son más persistentes los recuerdos antiguos que

los modernos, ello se debe a que las vías de asociación primitivamente creadas alcanzaron inusitada robustez, como formadas al fin durante la época en que la plasticidad neuronal alcanzó la máxima energía.

Ya un par de años antes, en el año 1893, y en relación con esas primeras ideas sobre las bases neuronales de la memoria, Tanzi señaló que:

Una corriente nerviosa que pasa más frecuentemente a través de una articulación neuronal provocará hipernutrición de las vías sobreexcitadas y, a la manera de lo ocurrido en los músculos, sobrevendrá una hipertrfia que se traducirá por un aumento de longitud de las ramificaciones neurónicas y, en consecuencia, por una disminución de la distancia que separa las superficies de contacto. Representando estos espacios las resistencias que la corriente debe vencer, resultará que la conductibilidad del sistema nervioso estará en razón inversa a los intervalos interneurónicos. El ejercicio tendiendo a disminuir estos intervalos debe, pues, aumentar la capacidad funcional de las neuronas.

Cajal en su teoría del crecimiento perfeccionador de las conexiones interneurónicas que acabamos de mencionar señala, tomando como partida la hipótesis de Tanzi, que es necesario algo más que la hipertrfia y el aumento de la longitud de ramificaciones neuronales existentes para explicar aspectos «sobresalientes» de ciertos actos mentales. Señala Ramón y Cajal (1904):

Nadie ignora que la obra de un pianista, de un orador, de un matemático, de un pensador, etc., resulta absolutamente inabordable para el hombre ineducado, cuya adaptación al nuevo trabajo (caso de que concurren en el sujeto circunstancias orgánicas favorables) es obra de muchos años de gimnasia mental y muscular. Para comprender este importante fenómeno se hace necesario admitir, además del refuerzo de las vías orgánicas preestablecidas, el establecimiento de otras nuevas, mediante la ramificación y crecimiento progresivo de las ramificaciones dendríticas y nerviosas terminales [...] ello explicaría también la memoria lógica, es decir, ese encadenamiento y subordinación ordenada de las adquisiciones que no se logran sino tras largo esfuerzo de atención y reflexión y mediante una nueva organización de los centros conmemorativos.

[conmemorar = recuerdo que se hace de una persona o cosa]. Tanto Tanzi como Cajal atisbaron de lleno en lo que luego demostraría la neurociencia actual.

## LOS POSTULADOS DE HEBB

Donald Hebb, en su libro *La organización de la conducta*, publicado en 1949, ya hizo unas consideraciones básicas para entender los experimentos posteriores que se han

realizado sobre esta temática. Señalaba Hebb:

Cuando un axón de una célula A es capaz de excitar a una célula B y repetida o persistentemente participa en su activación, se produce algún proceso de desarrollo o cambio metabólico en una o ambas células de manera que la eficacia de A, en cuanto célula excitadora de B, se intensifica.

Una regla importante es que, para que tal cosa ocurra, ambas células A y B deben pertenecer a un circuito que se mantenga activo. Hoy sabemos que los cambios que se suceden en el cerebro como resultado de los procesos de aprendizaje y memoria ocurren en la unión o conexión entre neuronas, esa parte de contacto que se llama sinapsis.

Neuronas que responden a la hipótesis hebbiana, es decir, neuronas que se comportan de acuerdo con los postulados de Hebb (1949), se pueden encontrar en el hipocampo de los mamíferos. Efectivamente, un estímulo fisiológico que refuerza o facilita la eficacia de una serie de sinapsis y que posteriormente se traduce en un cambio morfológico de esas mismas sinapsis se ha demostrado en esta estructura (el hipocampo) que ya hemos visto es tan importante para la memoria. En esencia, todo ello quiere decir que una sinapsis que se usa repetidamente se hace más eficaz. Una vez que una sinapsis trabaja más y se hace más eficaz, el umbral de estimulación para que la señal se transmita de una neurona a la otra se hace menor, y esa sinapsis necesita de estímulos cada vez menores para alcanzar una determinada respuesta, o lo que es lo mismo, con un mismo estímulo antes y después del reforzamiento, en esta última circunstancia se producirá una mayor respuesta. Y esto es probablemente la memoria, es decir, un cambio físico, entre neuronas, que puede ser permanente y que puede ser activado, evocado y, por tanto, rememorado.

A pesar de todo esto, es curioso y sorprende ver que, de alguna manera, hasta 1960 se ha mantenido prácticamente la idea de que el cerebro era una estructura inalterable en todo el periodo adulto del individuo, excepción era la maduración (durante el desarrollo) y la degeneración producida por el envejecimiento. Desde ese año, como he indicado, estas ideas «estáticas» del sistema nervioso cambiaron de un modo importante. Ya en 1972 John Eccles en su libro *Understanding of the Brain* señalaba que:

El cerebro no es una estructura de acción fija. En los niveles más altos del cerebro, las modificaciones y los cambios son la esencia de su trabajo, como está evidenciado por los procesos de aprendizaje y memoria. Hemos visto que esto puede ser explicado por cambios a nivel de la microestructura. Se postula que la actividad sináptica da lugar a su crecimiento por sus efectos sobre la síntesis de ARN y por tanto sobre las proteínas y otras macromoléculas. En contraste con la creencia comúnmente aceptada del cerebro como una estructura estática, debemos pensar en él como una estructura plástica en sus microniveles, con sinapsis en estado maduro, otras en desarrollo y otras en regresión.

Lo que no sabía Eccles es que hasta la gran morfología del cerebro (macroneves de giros y surcos) cambia en cada individuo a lo largo de toda la vida y lo hace así diferente al cerebro del resto de los seres humanos.

Estudios realizados en los últimos años han revelado no sólo que las sinapsis cambian su morfología como consecuencia de los procesos de aprendizaje y memoria, sino también los mecanismos genéticos que dan lugar a tales cambios (bioquímicos, morfológicos [anatómicos] y funcionales). Los estudios de los grupos de Eric Kandel en un caracol marino, la *aplysia*, Steven Rose en el pollo y Tom Bliss en la rata tienen un nexo común y conclusiones complementarias para acercarnos a entender la intimidad molecular y celular de esos procesos cerebrales.

#### DE CARACOLES, RATAS Y POLLOS

En 1960, un fenómeno celular, el denominado de potenciación a largo plazo, fue descrito en las sinapsis de las neuronas del hipocampo. En 1973, Tom Bliss y su equipo registraron en el conejo la actividad de unas neuronas (llamadas granulares) en el giro dentado de dicha estructura y mostraron, por primera vez, que el estímulo repetido de la vía que le lleva la información al hipocampo desde la corteza entorrinal (vía perforante) producía cambios sinápticos permanentes en estas neuronas (mayor fuerza sináptica). A este proceso se lo llamó potenciación a largo plazo. Aquí teníamos, pues, neuronas, en un área crucial para la memoria consciente, que podían «recordar» los estímulos recibidos. Tras el descubrimiento de este fenómeno, la biología molecular ha contribuido de modo sobresaliente a ir revelando la intimidad molecular de estos procesos. Eric Kandel y su grupo, por ejemplo, han desvelado los procesos de aprendizaje y memoria en un invertebrado, un caracol marino llamado *aplysia*, mostrando los mecanismos genéticos que en la neurona dan lugar a los cambios intracelulares, la síntesis de proteínas, el engarce de éstas en las terminales sinápticas y el consecuente aumento del grosor y número de las mismas. Eventos y procesos que van desde la liberación inicial de un neurotransmisor por la terminal de una neurona, llamémosle A, hasta la cadena de sucesos que se inician con la interacción de ese neurotransmisor con los receptores de la neurona B a la que transmite la información.

Pero al fin y a la postre, ¿cómo podríamos engarzar los sucesos moleculares, muchos de ellos realizados en una placa *in vitro*, con la memoria real, conductual, que realiza un animal? En un experimento, ya clásico, Richard Morris (1996) demostró que el bloqueo de un neurotransmisor (glutamato) clave en estos procesos de potenciación a largo plazo impedía, a su vez, que una rata aprendiera y memorizara una respuesta determinada. Efectivamente, la inyección de este bloqueante no sólo era capaz de bloquear la potenciación a largo plazo vista en el hipocampo, sino hacer a la rata incapaz de aprender a encontrar, nadando, la situación de una plataforma escondida en una cuba de agua, tarea que, por otra parte, no era ningún problema para sus compañeras que no

habían recibido la inyección de este bloqueante. Este tipo de test de natación, conocido como test de Morris, es el tipo de aprendizaje y memorización (lugares) que se codifican en los circuitos del hipocampo. Así ha sido como un fenómeno neurofisiológico y molecular ha sido correlacionado con la memoria conductual.

Estudios muy recientes, de biología molecular, están produciendo resultados revolucionarios en cuanto a las bases moleculares del aprendizaje y la memoria. En los llamados ratones transgénicos (en los que se ha eliminado o añadido algún gen o genes en su genoma) hay estudios que permiten llevar más lejos las correlaciones que antes hemos descrito. Efectivamente, el receptor clave del neurotransmisor (glutamato) que antes hemos mencionado como importante para los procesos de la potenciación a largo plazo y memoria se llama NMDA. Este receptor es tan importante en el sistema nervioso central que cuando se ha querido diseñar un ratón sin receptores NMDA (tras la eliminación del gen que transcribe la secuencia de aminoácidos de este receptor) ha resultado ser incompatible con la vida. Sin embargo, ratones transgénicos en los que lo que se ha eliminado son los genes que codifican para las proteínas específicas que activan los receptores NMDA han mostrado un déficit importante tanto en el aprendizaje como en la formación de potenciación a largo plazo. Es más, se han obtenido ratones transgénicos en los que la expresión de una forma mutante de proteína en el hipocampo impide la formación de LTP y también impide severamente los procesos de aprendizaje. Dejémoslo aquí. Éste es el límite de los conocimientos actuales acerca de esta relación entre los niveles moleculares y conductuales en los mecanismos del aprendizaje y la memoria.

Pero no terminemos definitivamente este capítulo sin al menos mencionar los experimentos con los pollos de Rose (1993). También Steven Rose y su equipo han mostrado en pollos que hay esta cascada de sucesos durante el proceso de aprendizaje y memoria que acontece en las sinapsis y que incluyen tanto a la postsinapsis como a la presinapsis. Rose y sus colaboradores han mostrado que a nivel de la neurona postsináptica (neurona B) la información llega al núcleo, activa los genes correspondientes y produce la síntesis de proteínas, y que estos sucesos ocurren en un tiempo real en el que se suceden los cambios de conducta y la consolidación de la memoria a largo plazo. Para demostrar esto en el cerebro del pollo, Rose utilizó un solo acto de aprendizaje en cada animal. El test utilizado fue ofrecer una bolita de cristal coloreada embebida en un líquido muy amargo. El pollo pica la bolita una sola vez y muestra una clara reacción de disgusto, no volviendo nunca a picar ese mismo tipo de bolita coloreada. Con sólo este acto de conducta y aprendizaje de evitación, Rose y sus colaboradores estudiaron dos áreas cerebrales del pollo y encontraron que esa cascada de sucesos moleculares que va desde la activación de receptores NMDA a la liberación de óxido nítrico (activación presináptica de la neurona A) y la entrada de Ca++ y activación de proteínas-quinasas en la neurona B (activación postsináptica) es un proceso que ocurre entre minutos y hasta una hora después de la prueba de aprendizaje. Tras ello se

produce la puesta en marcha de la síntesis de nuevas proteínas con la expresión de la familia de genes tempranos y factores de transcripción.

Simplificando la historia de los genes tempranos: los genes son encendidos (hasta entonces son silentes) por señales que llegan al núcleo y su activación resulta en expresión, en un tiempo de alrededor de una hora, de sus productos las proteínas c-fos y c-jun. Estas proteínas, a su vez, actúan como señales para la activación de otros genes más tardíos cuyos productos (proteínas) pueden resultar en la modificación de la estructura sináptica y su función (Rose, 1993).

En este último paso, y tras la primera hora, el proceso de síntesis de proteínas que lleva a la consolidación de la memoria a largo plazo comienza, y una de las proteínas nuevas, la tubulina, tarda en aparecer 24 horas y con ello una cascada de nuevas proteínas que dan lugar a la renovación sináptica.

La más simple interpretación de los resultados anteriormente expuestos es que la formación de la memoria ocurre debido a que un conjunto de sinapsis en esta estructura responde a una experiencia o aprendizaje relevante para el pollo con una cascada de procesos moleculares que comenzando con cambios sinápticos transitorios culmina en la síntesis *di novo* de macromoléculas que insertadas en las terminales sinápticas cambian el número y la fuerza de estas sinapsis alterando sus propiedades de señalización, y formando con ello «representaciones» de la experiencia. Es sobre la base de estas «representaciones» que cambia la conducta de los pollos.

## ¿SON LA MENTE Y LA CONCIENCIA UNA PROPIEDAD MÁS DE CIRCUITOS ESPECÍFICOS DEL CEREBRO?

Aspectos inconscientes de la actividad mental, tales como las rutinas motoras y cognitivas y las así llamadas memorias inconscientes, intenciones y expectativas, desempeñan un papel fundamental en dar forma y dirigir nuestra experiencia consciente.

G. M. EDELMAN Y G. TONONI  
*A Universe of Consciousness.*

Una de las llaves al funcionamiento del cerebro como sistema y por supuesto a las paradojas de la conciencia es entender cómo es que funciones tan dispares de ese cerebro modular están soldadas juntas para alcanzar ese sentido de nuestra propia unidad individual como personas, del pensamiento y la experiencia.

STEVEN ROSE  
*Brains, Mind and the World. From brains to consciousness?*

Se cuenta la historia de dos científicos, Gustav Fechner y William McDougall, en la que el primero, creador de la psicofísica, pensó (allá por el año 1860) que si la mente y la conciencia eran una propiedad más del cerebro, la división de los dos hemisferios cerebrales tras la sección completa del cuerpo calloso que los une daría lugar a que cada parte del cerebro tuviera su propia mente y conciencia. En otras palabras, la mente se dividiría en dos si el cerebro fuese dividido en dos. William McDougall, psicólogo, pensó por el contrario unos años más tarde, en 1911, que si tal cosa pudiera hacerse en un hombre, por otra parte impensable a principios del siglo pasado, esto no ocurriría, es decir, la mente y la conciencia seguirían siendo un proceso unitario e indivisible del hombre. Tal fe tenía McDougall en su concepción de la unidad de la mente y la conciencia frente al cerebro que visitó al profesor Charles Sherrington en Oxford para hacerle la increíble petición de que si él mismo, alguna vez, tuviese una enfermedad incurable, le operase y cortase su cuerpo calloso, demostrando así que «si estoy en lo cierto –dijo McDougall–, mi conciencia seguirá siendo una conciencia única».

A mitad del siglo pasado, Roger Sperry y sus colaboradores comprobaron, en pacientes en los que, por causas médicas (epilepsias intratables), se hizo una sección completa del cuerpo calloso y sus dos hemicerebros quedaron separados, que en condiciones de laboratorio dichos pacientes se comportan como si tuvieran dos mentes y conciencias separadas y con desconocimiento, además, la una de la otra. Efectivamente, si a uno de estos pacientes se le tapan los ojos con una venda y se le pone una llave en la mano derecha, será capaz no sólo de nombrar la llave, sino de buscar con el tacto y con

esa misma mano otros objetos similares de entre diversos objetos colocados en una mesa frente a él. Por el contrario, si en esas mismas condiciones al mismo paciente se le pone esa misma llave en la mano izquierda y se le pide que la nombre, no podrá hacerlo y contestará que no sabe qué es aquello. Es más, si en este segundo experimento se le pide que el mismo objeto lo coja con la mano derecha de entre los objetos que hay en la mesa frente a él, no sabrá hacerlo y sólo mostrará objetos en un intento de ver si acierta.

Y es que en el cerebro izquierdo residen, en un porcentaje muy alto de personas, los circuitos que codifican para el habla, siendo también el hemisferio que escribe y es hábil para las matemáticas e hilera los pensamientos en una secuencia lógica; de ahí que se le conozca como el hemisferio dominante. Este hemicerebro izquierdo recibe de modo directo toda la información sensorial procedente del lado derecho del cuerpo; de ahí que toda la información de una llave cogida con la mano derecha vaya directamente al hemicerebro izquierdo, que la reconoce y puede nombrarla. Correspondientemente, el hemicerebro derecho, denominado cerebro menor, recibe toda la información de la parte izquierda del cuerpo pero con una gran desventaja: no posee los circuitos del habla; de ahí que para poder nombrar esa información tenga que transferirla al cerebro izquierdo a través del cuerpo calloso (que en el caso de nuestro paciente se encuentra seccionado). El conocimiento adquirido en este caso por el cerebro derecho no puede ser nombrado aun cuando sí utilizada la información por ese hemicerebro. Al hemicerebro derecho se le conoce como cerebro menor porque no habla, escribe pobremente y es muy poco lógico, pero también es verdad que tiene talentos propios. Efectivamente, es muy bueno y desde luego mejor que el izquierdo en el mundo artístico porque es capaz de dibujar y reconocer formas y caras mucho mejor que el izquierdo. Es de esta manera que el mundo consciente del paciente ha sido dividido en dos. Lo que conoce su cerebro izquierdo no lo sabe su cerebro derecho y al contrario. Desde este punto de vista, Fechner tenía razón. El propio Roger Sperry (1968) lo dijo de esta forma:

Todo lo que hasta ahora hemos visto indica que la cirugía (la destrucción del cuerpo calloso que conecta a los dos hemisferios) ha dejado a estas personas con dos mentes separadas, esto es, dos esferas separadas de conciencia. Lo que es conocido por el hemisferio derecho parece enteramente fuera del conocimiento del izquierdo.

#### LAS ESCALERAS DEL CEREBRO, LA MENTE Y LA CONCIENCIA

¿Pero cómo se asciende en ese edificio que culmina en los procesos mentales y de conciencia desde los mecanismos moleculares y de células, de física y de química, que es en definitiva lo que se detecta cuando se estudia el cerebro? ¿Hay alguna escalera capaz de, peldaño a peldaño, llevarnos a esos altos niveles cuya apariencia es claramente no física ni química? Porque si es cierto que son las moléculas y las células las que dan

como expresión en la conducta del ser humano esos otros procesos mentales y de conciencia, ¿cómo ocurre tal cosa? A los neurocientíficos hoy no nos cabe duda alguna de que la actividad del cerebro son los procesos que llamamos mente y conciencia aun cuando la intimidad de relación entre moléculas y palabras siga siendo un problema por resolver. Y, en este sentido, encaja lo que señaló Steven Rose (1998), que:

Una de las llaves al funcionamiento del cerebro como sistema y por supuesto a las paradojas de la conciencia es entender cómo es que funciones tan dispares del cerebro modular están soldadas juntas de tal forma que puedan alcanzar ese sentido de nuestra propia unidad individual como personas, del pensamiento y la experiencia.

Aun distantes de ese conocimiento, las nuevas tecnologías de imagen y de registros electroencefalográficos y magnetoencefalográficos están construyendo puentes a través de los cuales se pueda trazar una cierta continuidad (*continuum*) entre procesos cerebrales, procesos mentales y conciencia. Posner y Raichle (1994) han hecho un intento de conexión a través de cinco niveles de conocimiento que van desde la más compleja estructura mental hasta las más pequeñas unidades cerebrales. Me permito describir aquí estos niveles de Posner y Raichle extraídos de mi libro *El reloj de la sabiduría* (2001). Éstos son:

1. *Sistemas cognitivos*. Es el nivel más alto de análisis. En esencia, los sistemas cognitivos refieren a todos aquellos sistemas (llamémosles mentales) encargados de realizar las actividades diarias del ser humano; es decir, leer, escribir, hablar con otros, reconocimiento de caras, planear un viaje (pensar). En concreto, hablar o leer y escribir pertenecen a un sistema cognitivo que es el del lenguaje y en el que participan varias estructuras y funciones cerebrales. Como ya hemos visto en el capítulo 5, el estudio del lenguaje constituye actualmente un área de investigación muy activa en la que se utilizan las nuevas tecnologías del análisis de imagen cerebral, como son la tomografía por emisión de positrones y la resonancia magnética.

Otro ejemplo es el de la planificación de un viaje que no sólo conlleva la activación del sistema cognitivo del lenguaje (leer, escribir, conversar) sino también hacer cálculos de tiempo y predicciones de futuro poniendo en relación muchas variables que involucran a su vez otros sistemas (piénsese, por ejemplo, en la planificación de algo tan aparentemente simple como ir al supermercado todas las semanas, o dar un paseo por tiendas y librerías con un objetivo concreto o abierto). Esto último pertenecería a un sistema, así llamado cognitivo, de planificación que, al igual que el del lenguaje, involucra varias y diferentes estructuras y funciones del cerebro. Estos sistemas cognitivos tendrían en su base las operaciones mentales.

2. *Procesos cerebrales y operaciones mentales* (propriamente dichas). Un sistema cognitivo está constituido o estructurado en operaciones mentales. Una tarea, como puede ser leer, o jugar al ajedrez o manipular imágenes en la mente, se puede dividir en operaciones separadas y ser éstas analizadas en relación con la actividad que genera el cerebro. En esencia quiere ello decir que un sistema cognitivo puede subdividirse o descomponerse en múltiples operaciones mentales y éstas, a su vez, ser ancladas a la actividad concreta de áreas y sistemas del cerebro. Por ejemplo, hemos visto a propósito del lenguaje qué áreas del cerebro se activan cuando se ha pedido a un sujeto que realice una operación mental, aquella de transformar un nombre (libro) en un verbo (leer).

Otro ejemplo sería decirle a un sujeto que imagine y vea (en su mente) que va andando desde su casa al trabajo y recree en sucesión las distintas partes del recorrido. Esto requiere un proceso de secuencia de imágenes visuales mentales que se pueden hilar unas detrás de otras en el tiempo. Lo sorprendente es que este ejercicio mental requiere de la actividad de las mismas áreas cerebrales que a su vez se activan cuando el sujeto ve u oye físicamente (en el mundo exterior) el mismo cuadro que evoca en su mente. Es por ello que un ciego, con lesiones de áreas visuales específicas, no puede evocar mentalmente imágenes visuales específicas. Pues bien, los cognitivistas toman unidades de estas operaciones mentales con las que pueden construir un conjunto lógico y tratar de simularlas en un ordenador.

3. *Campos o dominios de ejecución*. A este nivel de análisis, la pregunta es ¿cómo un ser humano realiza una operación mental? Para ello es necesario diseñar un modelo que incorpore las operaciones que queremos estudiar. La tarea de aislar una operación mental es relativamente fácil si dicha tarea lo es. Por ejemplo, para estudiar la formación mental de una imagen visual situamos al sujeto delante del monitor de un ordenador que aparece subdividido en un número de cuadraditos o celdillas. Y se le pide al sujeto que conteste tan rápido como pueda si una determinada celdilla, que le marcamos en la pantalla, estaría formando o no parte de las celdillas que ocuparía una letra F que mentalmente proyectara en dicha pantalla. Inmediatamente, la letra F es representada en la mente del individuo y tras ello procede a comprobar si la celdilla marcada cae o no dentro de las que ocuparía dicha letra en el monitor. Esta tarea es lenta, ya que como he señalado al principio tiene que evocar la letra F y a continuación proyectarla mentalmente en la pantalla. Tras ello procede a identificar las posibles celdillas ocupadas por la letra. Rápidamente identifica las que ocupan la línea vertical de la letra F y a continuación, de modo más lento, rellena mentalmente las celdillas que ocuparían las dos líneas horizontales, y finalmente decide si el punto que se le presentó en la pantalla se encuentra o no incluido dentro de la letra mentalmente creada.

Este proceso descrito indica que en el proceso mental que se sigue para la

construcción de la letra F lo que primero elabora el individuo es la línea vertical, y después le añade las dos líneas horizontales de ésta, construyendo primero la barra superior, más larga, y luego la inferior, más corta. Es así que la construcción mental de la letra F parece hacerse a golpes, trazo a trazo, proyectándola mentalmente en la pantalla del mismo modo que si se escribiera. Es curioso que a medida que el individuo construye la imagen de la letra, mejora la velocidad a la que comprueba que la celdilla marcada cae dentro de uno de los trozos o golpes ya construidos.

4. *Sistemas neurales*. Es un primer nivel de análisis de sistemas cognitivos a nivel cerebral. A este nivel se saca ventaja de la neuropsicología. Es decir, pacientes con lesiones concretas y específicas de áreas del cerebro y su correlación con déficits psicológicos bien estudiados aportan datos acerca de la implicación de esta área del cerebro en dominios de ejecución de una tarea u operación mental determinada. Por ejemplo, en una dislexia visual en la que el paciente puede ver y leer en un escrito cada palabra por separado pero sólo puede integrar las letras y obtener la palabra y su significado si lee las letras en voz alta. El correlato cerebral de este tipo de trastorno es una lesión localizada en la corteza occipital izquierda y/o lóbulo temporal. Aquí no se van a tratar de describir los diferentes correlatos entre alteraciones del procesamiento mental y su sustrato cerebral, pero destacar que su estudio a nivel psicológico y cerebral ha constituido un avance importante para entender mejor la relación cerebro-mente (y actualmente además para entender los procesos patológicos de los trastornos psiquiátricos. Véase el capítulo 9).
5. *Otros niveles neurales*. Que todo lo reseñado da un serio fundamento al establecimiento de un anclaje cerebral a los sistemas de ejecución de operaciones mentales parece evidente. Con las nuevas tecnologías de imagen cerebral, como son las ya mencionadas (tomografía por emisión de positrones, PET, y las imágenes por resonancia magnética, RM), se ha avanzado mucho en este sentido. Es decir, se está logrando identificar áreas del cerebro que son activadas como resultado de una operación mental específica realizada en ese momento por el sujeto.

Sin embargo, la psicología cognitiva o la neuropsicología no permiten, utilizando técnicas de imagen, trazar una perspectiva funcional en cuanto a la relación temporal que existe entre la activación de las diferentes áreas del cerebro que participan en la elaboración de un determinado proceso mental. Las técnicas de imagen no sirven por sí solas, porque necesitan un tiempo de resolución muy grande (PET unos 40 segundos de actividad), para expresar en cambios de flujo sanguíneo la actividad neuronal de un área del cerebro, y este tiempo es muy superior al que utiliza el cerebro para procesar una determinada información (100, 200 o más milésimas de segundo). Una manera diferente

de acercarse a este problema es el registro de los campos eléctricos del cerebro, que puede obtenerse en forma de potenciales a través de electrodos situados en el cráneo y ser éstos posteriormente promediados y computados. Esta técnica permite medir los tiempos de activación que se suceden en las distintas áreas del cerebro y su relación con la actividad concreta mental que se le impone a un individuo.

Un ejemplo concreto nos ayudará a entender mejor cuanto acabo de decir. Realicemos un experimento similar a aquel que hicimos a propósito del lenguaje y relatado en el capítulo anterior. Pedimos a un sujeto que esté atento a lo que aparecerá en la pantalla de un ordenador al tiempo que colocamos electrodos en su cuero cabelludo para registrar la actividad eléctrica de distintas áreas del cerebro y su secuencia de activación. En un determinado momento aparecen en la pantalla una serie de palabras. Pues bien, 100 milésimas de segundo tras aparecer la lista de palabras en la pantalla se registra una actividad neuronal (eléctrica) en varias áreas del cerebro, pero con un pico de actividad más sobresaliente en el lóbulo occipital del hemisferio derecho (aun cuando también cierta actividad importante en la misma área del lóbulo izquierdo). Esta actividad parece relacionada con el proceso atencional del individuo y sus características visuales (en un sujeto entrenado, este tiempo puede ser muy inferior, y llegar a las 60 milésimas de segundo o menos).

Tras ello, 150 milésimas de segundo después, hay otra respuesta, más fuerte en el lóbulo occipital izquierdo (principalmente) en su parte más anterior y cerca de la línea media. Esta respuesta parece producida ya por la forma de la palabra escrita (ocurre cuando al sujeto se le pide que de todas las palabras que aparecen en la pantalla se fije en aquellas que tengan alguna característica, por ejemplo, las escritas en negrita).

Cuando en otra serie de tests al individuo se le pide que evoque un verbo a partir de una palabra que aparece en la pantalla (es decir, que realice propiamente un proceso mental), a las 200 milésimas de segundo aparece un pico de registro de potencial en el área frontal lateral izquierda (área de Broca). Un segundo pico de activación aparece después, a las 700 milésimas de segundo, alrededor del área de Wernicke en la corteza temporal izquierda. Y tras él, otro alrededor de la corteza insular derecha a las 1.200 milésimas de segundo (segundo y medio aproximadamente).

En este ejemplo que acabo de dar sólo resalto las áreas activadas más importantes del cerebro de entre las muchas que se activan durante estos procesos que acabamos de señalar, pero lo importante es que claramente se pone de manifiesto la existencia de un reclutamiento secuencial de diferentes áreas del cerebro en función de la realización de las diferentes tareas o procesos mentales. Y ello, junto a los datos de la neuropsicología y otras disciplinas, nos lleva de modo firme a anclar definitivamente los procesos mentales a los procesos cerebrales.

El hecho de que, como acabamos de ver (en el caso del lenguaje a partir de una lista de palabras mostradas en una pantalla de ordenador), el procesamiento de la información arranca de la actividad de las áreas sensoriales (visión) para pasar después a otras áreas del cerebro polisensoriales y de asociación, no nos debiera llevar al error de pensar que este procesamiento cerebral es unidireccional y en serie. Como hemos visto ya en otras partes de este libro, la información sensorial es procesada en paralelo además de en serie. Y, en cada salto, entre las distintas áreas del cerebro hay sistemas de reentradas. De manera que cuando un área o serie de circuitos en el cerebro recibe una información para ser procesada, esta área o serie de circuitos, a su vez, reenvía esta información a las áreas de las que originalmente la recibió. Es así como desde las áreas corticales de asociación «más altas» de procesamiento y a través de sus correspondientes niveles hay una cascada de conexiones y comunicación a las áreas sensoriales «más bajas», incluidas las sensoriales primarias (por ejemplo, la V1 o corteza estriada en el caso de la visión). De igual modo ocurre para la impronta emocional de la información sensorial. Ya vimos en el capítulo 4 que aun cuando esta información entra en la amígdala para ser coloreada emocionalmente, esta misma amígdala procede a informar a toda la escala o etapas del procesamiento estrictamente sensorial de lo que está ocurriendo. Éste es un código universal de todo cerebro. En definitiva, el funcionamiento es de «abajo-arriba» (áreas sensoriales y límbicas-áreas de asociación) tanto como de «arriba-abajo» (áreas de asociación-áreas sensoriales).

La idea de un sistema abajo-arriba, arriba-abajo nos permite entender mejor lo que decíamos anteriormente a propósito de los procesos cerebrales y las operaciones mentales en el sentido de que para la creación de «imágenes mentales» en los sistemas altos del sistema nervioso central se necesita reclutar las mismas áreas y circuitos utilizados para la computación o procesamiento de cualquier información sensorial específica venida del mundo externo. Ésta es una conclusión importante comprobada por datos neuropsicológicos. En otras palabras, si yo evoco una cara conocida en mi mente, muchas de las neuronas que realizan ese proceso son las mismas que se activan cuando física y sensorialmente yo veo esa misma cara y con ello el componente emocional de esa cara. El mismo ejemplo sirve para un paisaje con sus colores. Esto explica, por ejemplo, cómo la lesión de un área cortical específica y que codifica para la elaboración de los colores impide a estos pacientes no sólo ver físicamente los colores de las cosas, sino que les impide imaginar colores (ver colores o paisajes de colores en su mente) o soñar con colores.

Un porcentaje importante del procesamiento neural (mental) que acabamos de ver se realiza de forma inconsciente, y sólo una mínima parte aflora a la conciencia. Ello nos lleva de la mano de los psicólogos cuando argumentan que sólo tenemos una pequeña capacidad de introspección y de acceso a los orígenes incluso de los más altos procesos cognitivos. De hecho, no somos conscientes de los muchos procesamientos neuronales que dan lugar a simples actos mentales. ¿Soy acaso consciente del procesamiento

neuronal que hace aflorar la imagen mental de un objeto? ¿Soy consciente de una información subliminal que recibo visualmente y que luego aflora en un acto de conducta que me hace escoger en un supermercado una marca de cerveza y no otra? Hoy, además, sabemos que estos procesos inconscientes son de un gran valor para la vida consciente. Señalan Edelman y Tononi (2000): «aspectos inconscientes de la actividad mental tales como rutinas motoras y cognitivas y las así llamadas memorias inconscientes, intenciones y expectativas desempeñan un papel fundamental en dar forma y dirigir nuestra experiencia consciente». Conocer, pues, los códigos por los que los hilos del tiempo corretean y cosen las costuras del tejido cerebral que atrapa los procesos mentales y los hace conscientes es el gran desafío de la neurociencia actual.

### ¿QUÉ ES LA CONCIENCIA?

Como decía Edelman en términos muy simples: «conciencia es lo que usted tiene si está despierto y lo que usted pierde en el sueño profundo o bajo anestesia y recupera de nuevo al despertar». Conciencia es además (como señalaba yo mismo en *El reloj de la sabiduría*):

No sólo estar despierto, sino tener una vida interior, no expresada en la conducta y en el mundo. Conciencia es estar vivo por dentro, recrear el mundo en el interior de ti mismo y darle además un significado. Escuchar sentado, quieto y relajado un trozo de una de las sinfonías de Mozart o Beethoven y estar sumido en ese profundo sentimiento que te embarga, eso es también conciencia. Además esto último, aun cuando paradójico y lejano, no deja de tener un significado de supervivencia. Escuchar un poema sinfónico o una sinfonía de Beethoven puede dar sentido a la vida de muchos individuos, es decir, «vale» vivir por ello. Precisamente, para muchos seres humanos, más allá de la comida, la bebida, el sexo y el juego, están como base de supervivencia muchos sentimientos, muchos «estados de conciencia» evocados por infinidad de percepciones. Ello incluye todo el mundo del arte y por supuesto la religiosidad (Mora, 2001).

La literatura médica ilustra sobre múltiples procesos cerebrales que abocan a la pérdida parcial de ciertas conciencias. Pongamos la conciencia de la visión de un objeto como ejemplo. Los pacientes con el síndrome llamado «la visión ciega» son individuos que ven pero no son conscientes de que ven. Estos pacientes pueden seguir con el dedo un punto de luz proyectado en un monitor o pantalla con bastante precisión, pero niegan absolutamente que lo están viendo (porque de hecho no saben que ven). Algunos de estos pacientes tienen capacidad para responder a la localización, en una parte de su campo visual, de un punto o línea, su orientación y movimiento y las longitudes de onda (colores) aun cuando al parecer son incapaces o tienen mucha dificultad en diferenciar, por ejemplo, un triángulo de un cuadrado.

¿Cómo lo hacen? ¿Cómo pueden estos pacientes ver y no saber que ven? No se sabe la contestación a estas preguntas, pero sí parece que el área visual primaria V1 (la corteza estriada) es crucial para el proceso consciente de lo visto. De hecho, las lesiones en estos casos de visión ciega han venido detectándose en el área V1. Por ello se piensa que estos pacientes pueden ver a través de vías alternativas que no generan conciencia, como por ejemplo la vía que va desde el ojo (la propia retina) hacia el tronco del encéfalo (colículos superiores) o desde el tálamo (ganglios geniculados laterales) a otras áreas de la corteza visual, como las áreas V4 y V5, sin pasar por las áreas primarias (V1). Lo que parece evidente es que la información visual alcanza áreas motoras (el paciente apunta con el dedo el objetivo en la pantalla) sin que, como he señalado, pase por su conciencia.

Hay otros muchos ejemplos; así, en el síndrome de «agnosia para las caras» (por lesión de las amígdalas), el individuo ve una cara y sabe que es una cara, pero no sabe qué cara es, no aflora a su conciencia si corresponde a un familiar, un amigo, si es cara conocida o desconocida. Otros síndromes incluyen la falta de reconocimiento emocional de las caras. El individuo en este caso no sólo sabe que es una cara, sino que reconoce a quién pertenece, pero es incapaz de distinguir si la cara representa un estado alegre, triste o agresivo. Es un claro caso de agnosia emocional.

### ¿EXISTEN LAS MICROCONCIENCIAS?

¿Dónde pueden estar localizados los sustratos neurales de la conciencia? ¿Dónde, en el caso de la visión por ejemplo, se localiza aquello que me permite ver y saber lo que veo?

Para muchos neurobiólogos, la conciencia visual sería una propiedad biológica o ingrediente más de la organización neural cortical que procesa activamente la información visual y no un hecho separado y posterior a este procesamiento. La conciencia surgiría así de la interacción funcional de todas las áreas que codifican para aspectos concretos de un objeto concreto, a través del disparo sincrónico de las neuronas concernientes y de su información reentrante en todas las áreas (Singer, 1996, 1998). Para el neurobiólogo Semir Zeki la conciencia puede ser una propiedad mucho más restringida, al proponer la existencia de microconciencias en esos circuitos visuales. Efectivamente, los experimentos más sólidos muestran hoy que las áreas cerebrales que procesan diferentes atributos del objeto visto trabajan de una manera relativamente autónoma, como lo demuestra el hecho de que lesiones del área que procesa el color (V4) impiden al sujeto ver en color pero no le impiden ver la forma o el movimiento. De igual modo, una lesión selectiva del área que codifica para el movimiento (V5) también impide al paciente ver selectivamente un objeto en movimiento sin afectar a la visión del color o la forma del mismo objeto.

Todo ello plantea un problema verdaderamente desafiante, y éste es si el correlato neurobiológico de la conciencia de cada atributo como color o movimiento reside en la

propia organización neural del área que procesa dicho atributo o si, por el contrario, el proceso de conciencia requiere de la participación de otras áreas visuales para alcanzar dicha conciencia. Zeki sostiene que el proceso de la percepción de cada atributo conlleva, en sí mismo, la conciencia, sin la participación de otras áreas visuales. Entre los muchos ejemplos de casos que sustentan sus argumentos quizá está el de pacientes intoxicados por monóxido de carbono que son incapaces de ver la forma de un objeto o su movimiento o su profundidad y, sin embargo, retener, algunas veces, la capacidad selectiva de ver los colores. O las acromatopsias o acinetopsias selectivas por lesión de las áreas visuales V4 o V5. Esto constituye una indicación más de que las diferentes áreas que codifican los atributos del objeto visto pueden actuar más o menos separada y autónomamente y que su actividad puede tener su propio correlato de conciencia sin la participación de las otras áreas visuales. Ello equivale a decir que la conciencia tiene en el cerebro unos determinantes espaciales. El hecho, además, de que el color pueda ser visto de modo consciente antes que el movimiento, en unas 60 milésimas de segundo, indica además que la conciencia tiene un determinante temporal. Luego la conciencia sería una propiedad que está distribuida témporo-espacialmente en el cerebro.

Puestos juntos todos los datos sobre el procesamiento de la información visual, señala Zeki (1998):

Sugieren que el procesamiento, la percepción y la experiencia consciente de un atributo visual no dependen o están basados en el funcionamiento normal de todo el cerebro o incluso de todo el sistema visual, sino sólo de un subsistema especializado en ese atributo. Debe haber por tanto muchas conciencias reflejando la actividad en los sistemas perceptuales procesados en paralelo y que constituyen el cerebro visual. Hemos desarrollado la hipótesis de que la actividad a cada nivel del sistema procesamiento-percepción pudiera generar un correlato de conciencia, y que son estas microconciencias las que deben ser «unidas» para generar la imagen integrada en el cerebro.

De todo esto se desprende que otros sistemas sensoriales podrían trabajar de una forma parecida.

#### LA CONCIENCIA COMO GLOBALIDAD FUNCIONAL DEL CEREBRO

Frente a esta última concepción de las microconciencias se encuentra aquella otra de la conciencia como fenómeno global del cerebro. A esta concepción global Searle la llama el campo unificado de la conciencia. Searle, con esa enorme capacidad docente que le caracteriza, describe esta concepción de la conciencia de la forma siguiente:

Imagine que usted se despierta de un sueño sin ensueños en una habitación completamente oscura. Hasta entonces usted no tiene una línea de pensamiento y

casi ninguna percepción sensorial. Aparte la presión de su cuerpo sobre la cama y la sensación de las sábanas sobre su cuerpo, usted no está recibiendo ningún estímulo del mundo fuera de usted mismo. Siendo todo lo mismo, debe haber una diferencia en su cerebro entre el estado mínimo de despertar en que se encuentra usted ahora y el estado de inconsciencia, que estuvo antes. Esta diferencia es la que mantiene los sustratos neurobiológicos de la conciencia que debemos buscar. Este estado de estar despierto es la conciencia basal o los sustratos básicos de la conciencia. Ahora enciende usted la luz, se levanta, se mueve alrededor, ¿qué sucede? Empieza usted a ver cosas. Pues bien, sólo el sujeto que es ya consciente puede tener experiencias visuales, luego la introducción de experiencias visuales no es una introducción de conciencia sino una modificación de la conciencia preeexistente (Searle, 2000).

La teoría del campo unificado es clara por sí misma. Es decir, desde la perspectiva de esta teoría alternativa, la conciencia no se crearía por la suma de muchas conciencias como propone Zeki, sino que la conciencia, proceso intrínseco al cerebro y al funcionamiento específico de los sistemas tálamo-corticales, es la base primaria de todas las conciencias. En alguna medida, y a mi modo de ver, las dos teorías no son excluyentes. Se puede tener una conciencia básica, aquella del despertar casi sin contenidos, la del saber que estoy despierto, y aquella otra de las microconciencias, siendo la conciencia unitaria, la conciencia como tal que experimentamos todos los días, aquella que subsume, integra a la conciencia básica las conciencias que son a su vez intrínsecas del sistema perceptivo específico. Es así como podríamos explicar la conciencia del sordo o el ciego. Ambos tienen una conciencia general sin duda del mundo y de cuanto les rodea, pero son inconscientes de modo claro y específico de las conciencias de los sistemas dañados sin que, por otro lado, se pierdan, como he señalado, las conciencias de los restantes sistemas sensoriales, intactos por otra parte.

Esta conciencia general, global, del individuo es un proceso de «alta complejidad» en el que participan fundamentalmente neuronas de la corteza cerebral y el tálamo y requiere de interacciones reentrantes, la atención y la memoria de trabajo, aspectos ya descritos ampliamente en *El reloj de la sabiduría* (Mora, 2001).

#### EL CENTRO DINÁMICO DE LA CONCIENCIA

Estudios recientes usando la técnica de magnetoencefalografía parecen indicar que la base central de la actividad consciente reside en el sistema tálamo-cortical y en grupos neuronales que se encuentran distribuidos por áreas occipitales, temporales y frontales. Esta actividad tálamo-cortical requiere del reclutamiento de grupos diferentes de neuronas en la corteza cerebral cuyas características funcionales Tononi y Edelman reúnen bajo el concepto de «centro dinámico» (1998). En un lenguaje asequible se

podrían reunir estas acciones de la forma siguiente: mientras un individuo focaliza la atención en algo que le interesa durante más de 60 milésimas de segundo (tiempo mínimo por debajo del cual el cerebro puede detectar algo e incluso guardar memoria de ello pero no alcanza a la conciencia del individuo), un grupo de neuronas en la corteza cerebral sincroniza su disparo o se activa conjuntamente. (No sólo es el disparo sincrónico de las neuronas, sino también el hecho de que unas neuronas disparan [se activan] mientras que otras se inhiben o se vuelven silenciosas.) Milésimas de segundos después, cuando nuestro foco de atención cambia hacia otro objetivo, otro grupo de neuronas es reclutado. En este caso no obligatoriamente es un nuevo grupo de neuronas. Pueden ser parte de las neuronas que componían el grupo anterior junto con otras nuevas. Y así diferentes actos de atención y de conciencia pueden reclutar muchos y diferentes grupos de neuronas en muchas y múltiples proporciones a lo largo y ancho de toda la corteza cerebral y tálamo.

Podríamos imaginar a la corteza cerebral como un árbol de Navidad con millones de pequeñas luces de colores conectadas de tal manera que entre ellas no haya nunca el encendido fijo de un determinado grupo, sino que cuando se produce el encendido de un pequeño grupo, éste lo hace de modo «funcional»; esto es, estas bombillas en un momento dado pueden formar un grupo por sí mismas, pero a su vez cada una de las bombillas puede formar parte de otros grupos diferentes. De hecho, pueden formar parte de cientos, miles de millones de grupos neuronales. La idea es que «el equipo» activado es funcional y «variable» y nunca anatómico y «fijo». En otras palabras, la anatomía (espacio) provee las conexiones (hardware) pero no el código (tiempo) de funcionamiento. Estas ideas van todavía más lejos, ya que muchas de estas unidades bien pudieran, en un determinado momento, participar en un proceso de conciencia, pero otras participar en procesos que no lo son. Estas analogías quizás sean muy simplistas para tratar de explicar procesos neuronales tan complejos. Probemos con otra metáfora, esta vez explicada por Edelman y Tononi (2000):

Imagínese un cuarteto de cuerda muy peculiar (e incluso extraño) en el que cada músico (cada neurona) tocara improvisando sobre ideas que se le ocurren y otras intuiciones que le vienen de sí mismo, y también, al mismo tiempo, tocando basándose en toda clase de señales sensoriales que le vienen del medio ambiente. En tanto que no hay ninguna instrumentación conjunta, cada músico aportaría sus propios tonos característicos, que inicialmente no estarían coordinados con los de los otros músicos del cuarteto. Ahora imagínese que los cuerpos, brazos y piernas de los músicos están conectados entre sí por una miríada de hilos muy finos de tal suerte que sus movimientos y acciones son rápidamente comunicados entre ellos adelante y atrás a través de las señales que proporcionan los cambios de tensión de los hilos que los conectan, marcando simultáneamente los tiempos de actuación de cada músico. Las señales que instantáneamente conectan los cuatro músicos darían lugar a una correlación de los sonidos que emiten sus

instrumentos; y así frente a los esfuerzos y sonidos independientes hechos por cada músico emergerían sonidos nuevos, más cohesionados y más integrados. Este proceso de correlación también alteraría la próxima acción de cada músico y de esta forma el proceso se repetiría pero emergiendo nuevos tonos que incluso serían todavía más correlacionados. Aun cuando no habría ningún director que dirigiera o coordinara el grupo y cada músico seguiría manteniendo su estilo y su papel, la producción de los músicos en su conjunto tendería a ser más integrada y más coordinada, y tal integración tendería hacia un tipo de música mutuamente coherente que cada músico tocando solo no puede producir.

#### LAS ONCE PROPIEDADES DE EDELMAN Y TONONI SOBRE LA CONCIENCIA

Todo ello se podría resumir finalmente en las once propiedades que, según Edelman y Tononi, un proceso neurobiológico de la conciencia requiere. Son las siguientes:

1. *La conciencia es un proceso.* Con ello se hace referencia al hecho de que la conciencia es un suceso en el tiempo y no algo fijo o estático, como si se tratara de una cosa. Como proceso, el concepto de centro dinámico se define en términos de interacción de neuronas: «la definición de un centro dinámico es una definición funcional, en tanto que se basa en la fuerza de un conjunto de interacciones más que en una estructura o propiedades de algunas neuronas o su localización».
2. *Integración o unidad.* Se refiere a la idea de que un acto de conciencia es un acto único y singular. Una persona no puede ser consciente de dos cosas a la vez. Ello lo muestran además los experimentos con la visión de las así llamadas figuras ambivalentes. La visión consciente de una figura no puede ser descompuesta en otros componentes independientes. «La integración es el sine qua non de la experiencia consciente. Y ello se produce porque un racimo funcional de neuronas tiene fuertes interacciones mutuas que no pueden ser subdivididas en componentes independientes.»
3. *Privacidad.* Cada percepción consciente es un acto privado del individuo que no puede ser compartido en su totalidad por otro. Se puede describir a otro ese acto perceptivo, pero difícilmente ese otro será consciente de la misma y concreta percepción recibida por el primero. «Tanto la unidad como la subjetividad inherente al proceso o privacidad son consistentes con la definición de un racimo neuronal funcional.»
4. *Coherencia del estado consciente.* Es un concepto que trata de matizar en términos neurobiológicos el concepto previo de la unidad de un acto de percepción consciente al indicar que no puede haber dos escenas incoherentes al mismo tiempo y que «lo importante a destacar en este concepto es que, en tanto que el racimo neuronal es integrado, sólo aquellas interacciones neuronales que son

mutuamente consistentes y estables (coherentes) son favorecidas por la dinámica del sistema».

5. *Conciencia como un proceso diferenciado.* Se refiere a la sucesión de escenas conscientes diferentes que el ser humano puede percibir. Recordemos que un acto de conciencia puede durar unas 60 a 100 milésimas de segundo, ello indica la capacidad de discriminar entre muchos actos de conciencia en sólo un segundo.
6. *La capacidad informativa de la experiencia consciente.* Un acto consciente es un acto que provee de información al sujeto. El sujeto en ese acto conoce algo. Y además esa información es una información seleccionada entre las muchas, miles o millones de informaciones posibles a las que tiene acceso el sujeto en ese momento.
7. *Reparto o distribución de información.* Contexto-dependencia y acceso global. Se refiere al hecho de que muchos actos de conciencia son más lentos que otros debido a que el sistema tálamo-cortical debe acceder a la información almacenada en muchas áreas del cerebro que no necesariamente pertenecen a ese racimo o centro dinámico. Ello «puede indicar que los circuitos hipocampales, por ejemplo, que son conocidos como cruciales para la memoria episódica (memoria de un acontecimiento determinado en la vida del individuo), pueden ser preferencialmente activados por el disparo coherente de poblaciones distribuidas de neuronas en el sistema tálamo-cortical (un centro dinámico)».
8. *Flexibilidad.* Se refiere al valor adaptativo de la conciencia en el sentido de que es a través de actos de conciencia que se hacen asociaciones entre pasado y presente o asociaciones con señales nuevas no previamente conectadas entre sí, lo cual está en la base de los procesos de aprendizaje y memoria. El ejemplo de un animal en la selva asociando cambios de ruidos y olores provenientes del medio ambiente da idea de lo que este concepto quiere indicar y su valor para la supervivencia.
9. *La capacidad de la conciencia.* Se refiere a que la capacidad informativa de la conciencia no debe basarse en cuántos trozos o pedazos de información independiente pueden contener los diferentes estados de conciencia (esto, comparado con la capacidad de retener en memoria –por ejemplo, dígitos– de un ordenador, es nada), sino a la capacidad de ésta para poder diferenciar fácilmente entre cientos de miles de millones de diferentes estados de conciencia en una fracción de segundo. Visto así, «la capacidad informativa de la experiencia consciente debe ser extraordinariamente alta, por supuesto, mucho mejor que cualquier ingeniero de hoy en día pudiera soñar».
10. *La naturaleza seriada de la conciencia.* En el punto 2 ya señalamos que una de las propiedades básicas de los mecanismos de la conciencia es su unicidad. De ello se desprende que nuestros actos de conciencia son actos seriados, es decir, uno detrás de otro. Y es de esta forma que Edelman trata de explicar que el centro dinámico o grupo de neuronas activas cambia o tiene una evolución dinámica y se

mueve de un estado de agrupamiento neuronal a otro, de un acto consciente a otro. «Un examen de este fenómeno muestra que el tiempo para estos cambios o decisiones está alrededor de 150 milésimas de segundo, una cantidad de tiempo increíblemente cercana al límite de tiempo más bajo que se necesita típicamente para la integración consciente.»

11. *La conciencia como proceso continuamente cambiante.* Se refiere al cambio constante de los estados de conciencia y la formación de agrupaciones funcionales de neuronas (centro dinámico) y su cambio constante en otro estado funcional. Como he señalado, cada acto de conciencia viene a tener una duración de 60 a 100 milésimas de segundo. Ello da idea de los cambios vertiginosos que se producen en la corteza cerebral con el reclutamiento de grupos funcionales y coherentes de neuronas.

## EL GRAN MISTERIO O LA CONSTRUCCIÓN DEL YO EN EL CEREBRO

El reconocimiento de mi yo o «sí-mismo» es un acto supremo de la conciencia. El yo y su reconocimiento es la construcción «funcional» que nos diferencia del resto del mundo y crea la individualidad. No me cabe ninguna duda de que la construcción del yo se hace en nuestro cerebro en un proceso que se actualiza todos los días en el contacto de nuestro cuerpo con el mundo y con la identidad cambiante de nosotros mismos al mirarnos cada mañana al espejo. En él, en el espejo, contemplamos el rostro cambiante que nos identifica, nos da individualidad respecto a otra cosa o individuos y nos da esa identidad inconfundible para nosotros y los demás. Y lo mismo ocurre con el «yo», con ese «uno mismo», pues mi yo de hoy difiere de modo importante de mi yo de hace treinta años. Mi identidad como yo, que parece persistir sin embargo a lo largo del tiempo, es realmente una actualización constante y consciente (yo añadiría ahora que también inconsciente) de todas las percepciones que recibo de mí mismo cada minuto, cada día, en el marco de mis percepciones anteriores. Posiblemente esa actualización sólo descansa durante las siete horas de sueño. Y es a la mañana siguiente, cuando me levanto y me miro por primera vez al espejo, que retorno a mi yo y a mi constante e incansable reactualización de mí mismo. Enmarco cada pensamiento, cada sentimiento, cada arruga nueva de mi cara y de mi cuerpo en una constante actualización y cambio de mi cerebro que además soy yo mismo. Eso hace que exista «el fantasma» de mí mismo. Y eso sucede igualmente en el cerebro de quienes en casa, en la familia o colegas en el trabajo te ven varias horas todos los días.

Pero ¿cómo sucede tal cosa en el cerebro? ¿Qué sabemos hoy de los mecanismos cerebrales que pudieran dar soporte a ese proceso creativo del «mí mismo» y su actualización constante? Llinás (2001), desafiador constante y crítico de los conocimientos a veces más enquistados en el misterio del ser humano, dice simplemente:

El yo siempre ha sido el sumuoso y magnífico misterio. Pero uno debe entender que no hay tal cosa tangible. Es sólo un estado mental particular, una entidad abstracta que se ha generado en el cerebro y que referimos como «yo». El sistema tálamo-cortical relaciona las propiedades referenciales sensoriales del mundo externo a las motivaciones y memorias generadas internamente. La subjetividad o el «sí mismo» está generado por el diálogo entre el tálamo y la corteza cerebral. Este proceso une, en una fracción de tiempo, los componentes fracturados de la realidad externa e interna en un único constructo que es lo que nosotros llamamos «el sí mismo». Es una invención conveniente y tremadamente útil por parte del cerebro. Hay unión (entre el mundo interno y el externo) luego soy.

## ALUMBRANDO CREATIVIDAD

Un día, Demócrito tomó una decisión. Y habló en el Ágora.  
 Y construyó, pieza por pieza, parte por parte, un mundo infinitamente pequeño.  
 –Los átomos se mueven en el vacío; agrupándose dan origen a las formas, los fenómenos, los cambios, el nacimiento y la muerte.  
 –¡Locura! –exclamó una voz.  
 –¡Está chiflado! –añadió otra.  
 –¡Tu átomo!... ¡Producto de tu fantasía!... ¡Engendro de tu delirio!...  
 Y toda el Ágora se llenó de carcajadas estrepitosas.  
 –¡Por el alma del Universo! –gimió Demócrito con ansiedad y tristeza–. ¿Me habré vuelto loco...?

K. A. SCHENZINGER  
*Átomo.*

Cuando estoy, por así decirlo, completamente conmigo mismo, completamente solo, o durante la noche cuando no puedo dormir, es en estas ocasiones que mis ideas fluyen más abundantemente. Cuándo y cómo vienen esas ideas no lo sé. Lo que si sé es que vienen solas, espontáneamente, y que no puedo forzarme a producirlas.

Esto lo escribió Wolfgang Amadeus Mozart indicando con claridad que para él las grandes ideas, las grandes melodías o frases musicales que han sobrecogido a millones de seres humanos en el mundo no eran el producto de un acto voluntario consciente y laboriosamente conseguido, sino que, por el contrario, asomaban a su conciencia espontáneamente, sin esfuerzo aparente.

¿En qué medida las observaciones de Mozart nos dan una idea de ese proceso que llamamos creatividad? ¿Es la creatividad un proceso aparentemente pasivo en el que, como en el caso de Mozart, los productos creados asoman sin más a la conciencia? ¿Es éste un proceso cerebral que tan sólo lo tienen los genios? Quizá, por otra parte, se podría pensar que esta forma de alcanzar la creatividad sólo ocurre en los músicos o quizás, en general, en el campo del arte, pero no en la ciencia. Sin embargo, ¿no fueron también procesos muy similares aquellos otros que ocurrieron en los casos de notorios científicos o matemáticos, como Henri Poincaré, Otto Loewi o Friedrich Kekule, descritos estos últimos en las páginas 72-73 de este mismo libro? Pero aun así, ¿pudiera haber otras formas o mecanismos cerebrales por los que se producen los procesos creativos?

¿QUÉ ES CREATIVIDAD?

Creatividad, como concepto, se refiere a la acción o proceso de producir algo nuevo, diferente, original y útil y encajarlo en el contexto de una cultura determinada que dé sentido a lo creado. Crear significa, en general, que la gente entienda lo creado y consecuentemente tomar ventaja social de ese producto, sea éste una excelsa sinfonía, una pintura o una compleja formulación matemática, aun cuando esta última sólo quede a la comprensión de mentes privilegiadas. Ello nos lleva a la idea de que el objeto creado o la obra realizada debe ser algo que, aun cuando muy nuevo e incluso asombroso, debe estar engarzado en la cultura de su tiempo y debe, además, ser entendido, al menos, por las mentes más avanzadas de esa cultura.

Un ejemplo de cuanto vengo señalando bien pudieran ser las pinturas de Vincent Van Gogh. Probablemente las pinturas de Van Gogh nunca hubiesen sido entendidas ni hubieran tenido resonancia emocional alguna hace dos mil años en la Roma clásica. Ni tampoco, por supuesto, en la Edad Media o en el Renacimiento. Consecuentemente, las obras de Van Gogh nunca hubiesen sido consideradas como algo «creativo», ni este pintor, un genio, ni un creador, sino posiblemente «un loco». De hecho, ni siquiera en el periodo cultural en que vivió Van Gogh tuvieron sus pinturas eco social o llamaron la atención de los especialistas. Y sólo tiempo después, tras su muerte, se encontró un significado emocional, estético, a esos

... arcos en los que el paisaje y la tierra parecen vivos, elevándose y hundiéndose por todas partes como un oleaje geológico y en donde los árboles flamean como antorchas y todo se retuerce atormentado desde el cielo que palpita hasta los colores que resplandecen como lumbre (Jaspers).

Es cierto que el proceso de creatividad en Van Gogh y que dio lugar a sus pinturas tiene una historia cerebral convulsa (véase el apartado «Genio y locura» del capítulo 9 de este mismo libro). Pero aparte de ello, este caso refleja bien las vicisitudes y experiencias psicológicas que se atribuyen a muchos creadores cuando se encuentran inmersos en la producción de sus obras, como la inquietud y la desazón, la inestabilidad emocional, el placer, el dolor y el miedo, y hasta el arrobamiento e, incluso, se ha descrito inspiración mística. Un proceso creativo de este tipo se da particularmente en el arte. Pero un proceso creativo tiene también muchos otros registros de la personalidad. Y ello se corresponde con la idea de que la creatividad es un proceso intrínseco al propio diseño del cerebro humano. Tanto es así que todo ser humano es creativo, capaz de producir cosas nuevas. Y de hecho todo el mundo puede crear y crea todos los días. El lenguaje, por ejemplo, ya lo señaló Noam Chomsky, es un instrumento poderosamente creativo, ya que con él siempre, tanto cuando se habla como cuando se escribe, se engarzan palabras o se construyen frases de un modo único, nuevo y personal. Nadie lo hace de modo idéntico. Y eso ya es crear. Es más, cuando un niño coge uno de esos juguetes consistentes en múltiples piezas que se pueden engarzar para construir casas, esculturas, barcos o puentes, de forma sólo guiada por su imaginación, está creando algo nuevo que

antes no existía.

La creatividad es, pues, en su esencia, un proceso individual, y ello da lugar a que la categoría de los valores o logros que puedan alcanzarse dependa mucho de qué cerebros son los que crean. Estos valores corren una larga escala que va desde un máximo que es lo que produce el genio (al borde de lo más avanzado en la ciencia o el arte) hasta lo que puede «crear» una persona sin grandes pretensiones intelectuales. Por supuesto, las grandes creaciones son siempre producto de cerebros altamente dotados.

#### IMPULSOS, EMOCIONES Y GENIOS

Si bien es cierto que, en alguna dimensión, todos los seres humanos son creativos, no es menos cierto que sólo algunas personas tienen, en su más alto grado, ese ingrediente en sus cerebros que llamamos impulso creativo. Impulso creativo es «ese algo» que todo el mundo asocia propiamente con la creatividad y que consiste en la fuerza que empuja y la capacidad que permite crear cosas nuevas. Uno de sus componentes principales es la cognición, es decir, las cualidades o capacidades de la persona que tras mucho trabajo, dedicación y enorme talento es capaz de alumbrar una idea nueva. Una idea nueva y a veces revolucionaria que surge, además, como resultado de un profundo conocimiento previo de la materia en la que trabaja. Y es que las ideas creativas son selectivas de un área de conocimiento. A este respecto resulta interesante el que, las más de las veces, quienes son creativos en una materia, como bien pudiera ser la pintura, por ejemplo, no lo son en otras, sean éstas ingeniería, matemáticas o negocios. Esto corrobora algo que, a veces, resulta sorprendente. Y es comprobar cómo aquellas personas que consideramos poseedoras de capacidades extraordinarias y que llamamos genios lo son solamente en una parcela muy concreta del conocimiento, siendo a su vez normales e incluso torpes en muchas otras.

Lo cierto es que las grandes creaciones han sido siempre producto de esos cerebros privilegiados que hemos convenido en llamar genios, como lo fueron los de Copérnico, Mozart o Bach, Newton, Darwin o Einstein, y tantos otros. Cerebros cuyo ingrediente básico, «creativo», es absolutamente desconocido aun cuando nadie duda de una impronta genética única expresada en circuitos cerebrales específicos, y una vida también desarrollada en ambientes familiares y sociales asimismo privilegiados. Sin duda que el ambiente en que cada ser humano ha tenido la oportunidad de vivir es determinante. Poniendo un burdo ejemplo se podría decir que Einstein, con su bagaje genético, no hubiera tenido nunca más allá de la inteligencia de un chimpancé si hubiera crecido entre chimpancés. Bach no hubiese sido nunca Bach, no sólo en el caso de que se hubiese perdido en la selva poco tiempo después de nacer, sino incluso si hubiese crecido en un ambiente familiar y social rico en cualquier otra cosa que no fuese la música. Precisamente, el entrenamiento y el aprendizaje constante de tareas específicas llevadas a cabo por cerebros genéticamente dotados en esos ambientes privilegiados son

los que pueden llevar al individuo a sus máximas realizaciones intelectuales.

Otro componente de ese impulso creativo es la emoción, esa fuerza no específica que tienen todas las personas y que les lleva a reaccionar ante cualquier estímulo, sea éste placentero o doloroso, y a luchar y defenderse. La emoción es la hoguera que nos mantiene vivos. Resonar ante el mundo de una manera emocional es importante tanto para el mantenimiento de la vida básica misma como para realzar las capacidades cognitivas del individuo. La emoción es el fuego que ilumina, de modo inconsciente, y sobre memorias previas conscientes, todo el mundo íntimo del ser humano y cuanto le rodea, dándole significado. El fuego emocional es la energía con la que se persiguen, de modo constante, las ideas a alcanzar. La emoción es el «agujonazo» que mueve a resolver cualquier incógnita de modo creativo. Es, por tanto, un mecanismo inconsciente el que produce la ignición del proceso creativo y es luego que se torna consciente y se desarrolla con el conocimiento de la materia disponible y el propio proceso de razonamiento.

Las funciones que codifican la emoción ocupan una parte importante del cerebro. Es casi otro cerebro dentro del cerebro, que se conoce como cerebro límbico o cerebro emocional y que está ubicado por debajo de la corteza cerebral (véase el capítulo 4 de este mismo libro, para una ampliación de estos conceptos). Son funciones que constituyen los pilares de la supervivencia y son ellas, y particularmente en el ser humano, la base de las interacciones sociales, de la toma de decisiones y, desde luego, de la propia creatividad.

## LUCES Y SOMBRA

La inteligencia es, sin duda, otro componente de ese proceso que llamamos creatividad. La inteligencia es como un foco de luz, capaz de iluminar las cosas o los pensamientos y sacarlos de las sombras. La inteligencia es la herramienta capaz de hacer aflorar conocimiento, pero conocimiento con aplicabilidad clara y casi inmediata. A la persona inteligente se la reconoce por su claridad y nitidez sobresaliente en lo que dice y hace. Yo defino la inteligencia de un modo tan simple como «la capacidad de adaptarse al mundo que te rodea». Eso es, yo diría, la esencia de la inteligencia. Mucha gente piensa, precisamente, que la inteligencia es un ingrediente esencial del proceso creativo. Sin duda que lo es. Pero la pregunta clave ahora es ésta: ¿Ser creativo requiere sólo tener un nivel muy alto de inteligencia? Hay un estudio, hecho hace algunos años, que lo desmiente. En él se escogió un número de arquitectos en los que por medio del test correspondiente de inteligencia (IQ) se comprobó que todos ellos tenían un alto coeficiente intelectual (IQ de 120). Sin embargo, se pudo comprobar que sólo un pequeño grupo de ellos fue clasificado como altamente creativo. El resto de arquitectos o bien no era nada creativo, simplemente reproducía o modificaba ideas que ya estaban en el ambiente, o era algo creativo, alumbrando diseños más allá de lo convencional. Es

decir, con el mismo nivel de inteligencia, unos arquitectos eran creativos y otros no. Esto nos habla de que, aun cuando la inteligencia es un ingrediente del proceso creativo, otros ingredientes son necesarios para alcanzar cotas que llamamos propiamente creativas.

## CHIMPANCÉS Y CURIOSIDADES

¿Dónde está el origen de las capacidades creadoras del cerebro humano? La creatividad es claramente un producto del cerebro humano, pero algunas de las cualidades o ingredientes de ese proceso se han adquirido a lo largo de la evolución. En otras palabras, los cerebros de los predecesores de los seres humanos, lejanos en el tiempo, ya tienen algunos de esos ingredientes. Y son, de hecho, elementos añadidos a los mecanismos que utiliza el cerebro para salvaguardar la supervivencia. La creatividad, en su más elemental acepción, ya nace en los cerebros como un código de funcionamiento capaz de ser activado por los estímulos nuevos con los que se enfrentan los seres vivos y la capacidad de, a partir de ellos, elaborar y crear nuevas respuestas. Ese código, por ejemplo, ya elabora la curiosidad, que es el mecanismo cerebral, emocional, que lleva a los mamíferos a explorar, a buscar nuevos estímulos y con ellos descubrir cosas nuevas.

La curiosidad es un componente de la emoción, esa función que propiamente nació con los mamíferos hace aproximadamente unos 200 millones de años y de la que hemos hablado en las páginas precedentes. De ahí posiblemente arranca la energía de crear del cerebro. Pero es, sin duda, en las capacidades de nuestros mas inmediatos antecesores (hace unos 5-6 millones de años), los antropoides, animales de curiosidad máxima y capacidades extraordinarias para resolver problemas, donde se pueden encontrar los antecedentes de esos aspectos creativos e innovadores que tiene el ser humano. Son muchos los ejemplos creativos que se pueden extraer particularmente del mundo de los chimpancés y los bonobos. Desde la utilización de pajitas o palitos para extraer hormigas de los agujeros en los troncos de los árboles o encontrar soluciones nuevas, como desenganchar un dedo atrapado en una red sin herirse, hasta construir una piedra afilada con la que poder cortar el cordel con el que está atada una caja que contiene bananas. Con todo, sin embargo, está claro que la curiosidad humana va mucho más allá de la de los antropoides, y alcanza cotas como las de la investigación científica y el arte. Precisamente, ser investigador, en cualquier campo de la ciencia, o alcanzar cotas notables en el campo del arte, sea pintura, escultura, literatura o música, requiere esencialmente ser curioso. El arte en particular da especial cabida a esa curiosidad sagrada del ser humano, pues es con ella con la que se alcanza ese grado de satisfacción máximo que es la contemplación de la belleza. En el arte, el creador explora, siempre con curiosidad, el resultado de cada pincelada en el lienzo o de cada golpe de martillo sobre el mármol. En este caso, la curiosidad del artista le lleva a querer ver constantemente, y en el mundo real, lo que hasta entonces sólo había existido en la realidad de su pantalla mental. Yo creo que algunas de las reflexiones más importantes

que nos han llevado a entender algo sobre la creatividad en el cerebro proceden del mismo arte.

## ABSTRAER Y CREAR

Aparte de los ingredientes que acabamos de comentar (la inteligencia, la emoción y la curiosidad), el ser humano alcanza sus capacidades creativas con registros cerebrales múltiples que incluyen los mecanismos de la atención, el aprendizaje y la memoria, la abstracción, el razonamiento y el lenguaje. Y es con el lenguaje, ya lo hemos señalado, que el proceso creativo se hace verdaderamente humano. Y junto a él está el pensamiento y la razón y sus unidades básicas de procesamiento, que son las ideas o abstractos. De hecho, esos abstractos se consideran hoy el verdadero «pilar» básico de los procesos creativos.

El proceso de la abstracción refiere a la capacidad del cerebro de crear un concepto (una idea) y con él representar a muchas cosas concretas y tras agruparlas y clasificarlas finalmente expresarlas en el lenguaje. (En el capítulo 3 ya se describen los principios cerebrales básicos de la abstracción, particularmente en el apartado «De cómo una naranja se transforma en todas las naranjas del mundo».) Posiblemente la abstracción y el lenguaje sean las capacidades más distintivas del ser humano. Todo cerebro, el de cualquier ser vivo, es capaz de trabajar con «concretos», sean éstos objetos, cosas o seres vivos, pero sólo el ser humano tiene la capacidad de englobar esos «concretos» con características o cualidades muy parecidas en un concepto o un abstracto. Por ejemplo, el concepto perro es una abstracción que engloba a todos los posibles perros del mundo, independientemente de las particularidades de cada perro, y no sólo individuales dentro de una misma raza, sino entre razas, tamaños, pelajes, orejas, colores y capacidades de conducta específicas. El cerebro crea conocimiento trabajando con esas unidades que son los abstractos. Y el concepto o la idea de perro se diferencia de la idea de vaca o caballo. Estas diferencias se clasifican de acuerdo con valores y necesidades. Las ideas o abstractos son las piezas básicas, los ladrillos, con los que se construye el conocimiento.

La creación de los abstractos representa un enorme paso cualitativo en el cerebro de los homínidos. Un salto extraordinario con el que se pasó de percibir y describir esa realidad concreta de todos los días que acabamos de mencionar (una roca, un árbol, un gato) a resumir y manejar esa misma realidad de una manera simbólica, con ideas. Ello le permitió al cerebro ahorrar tiempo de modo considerable en el procesamiento de la información, y tiempo también en la comunicación con los demás. Esto es en esencia la abstracción.

## NEURONAS CREATIVAS

El cerebro posee los mecanismos neuronales que permiten el proceso de la abstracción. (Véase también «Neuronas, circuitos y abstracción» en el capítulo 3.) Hoy empezamos a conocer que hay neuronas que se activan con un patrón de disparo muy similar ante la visión de un determinado objeto, independientemente de la posición que éste tenga, si previamente este mismo objeto ha sido mostrado desde diferentes ángulos de visión y perspectiva. Obviamente, estas neuronas que, por tanto, reconocen al objeto como tal han debido ser capaces de sintetizar la actividad de otras neuronas previas que sólo respondían a posiciones fijas y específicas de ese mismo objeto. Esto se cree que pueda ser un principio de base neural para entender las abstracciones que hace el cerebro. Es decir, es posible que haya neuronas capaces de disparar o activarse con un patrón muy similar de disparo ante objetos que sin ser iguales guarden ciertas características comunes que hagan que puedan clasificarse como iguales. Y eso es, precisamente, la abstracción; es decir, la creación de un objeto mental que pueda ser aplicable a muchos objetos similares pero diferentes.

Las ideas o abstractos son las monedas o unidades que se utilizan, en redes neuronales abiertas y localizadas principalmente en las áreas de asociación de la corteza cerebral, para pensar y crear conocimiento. Redes que, hoy se cree, son plásticas y constantemente cambiantes a medida que trabajan. Esto contrasta con otro tipo de redes neuronales que no cambian en su estructura y funcionamiento de un modo esencial, como por ejemplo las que controlan el latido cardíaco. Así pues, las redes neuronales que son la base de los procesos mentales tienen en su esencia el cambio constante. Determinadas áreas cerebrales (tanto corticales como subcorticales) han sido destacadas como nodos clave de esas redes. Éstas son la corteza prefrontal, tanto dorsolateral como orbitaria, la corteza cingulada anterior y también hay ciertos núcleos del tronco del encéfalo donde se localizan las neuronas que son el origen de los sistemas de catecolaminas (dopamina, noradrenalina y serotonina). Estos neurotransmisores son liberados en diferentes áreas de la corteza cerebral, a la que «despiertan y alertan», y participan en ella y en cada circuito específico en el procesamiento de información.

En particular, la corteza cingulada anterior y la corteza prefrontal participan en la elaboración de planes inmediatos o futuros a los que es intrínseca la creación de estrategias nuevas. Específicamente, la actividad de la corteza cingulada anterior ha sido relacionada con la integración de varias vías de información relativas a la recompensa y el placer, la memoria de situaciones anteriores parecidas y la preparación de la ejecución de una conducta determinada. Es un área que se activa cuando la persona se encuentra en plena focalización de la atención y durante un proceso de razonamiento y búsqueda de soluciones a problemas concretos y determinados, sean éstos los planteados por un juego o por un teorema matemático. La corteza prefrontal, por su parte, engloba muchas otras áreas que son clave en la elaboración de multitud de conductas que tienen que ver sobre todo con las interacciones sociales, la creación y la clasificación de valores, las relaciones estímulo-refuerzo, la planificación del futuro o la secuencia de razonamientos

acordes a un plan o logro inmediato o futuro, o también depósito de situaciones anteriores vividas y experiencias emocionales. Otras áreas cerebrales, como las cortezas parietotemporales (áreas de asociación) o algunas otras áreas muy específicas, tienen que ver con matices del ingrediente emocional, como son la corteza orbitofrontal, la corteza prefrontal medial o la amígdala.

Con todo, es importante destacar que el cerebro no posee un sistema anatómico específico dedicado exclusivamente al proceso creativo. La creatividad, al igual que la ética, la belleza, la toma de decisiones o la capacidad de imaginar o razonar, no existe como tal en ninguna parte «física» del cerebro. Crear significa tener la capacidad de emocionarse y razonar, aprender, recordar, imaginar, y todas estas son funciones cerebrales cuya elaboración se encuentra distribuida en áreas, circuitos y redes neuronales cuya actividad, en códigos de tiempo, comparten y, a su vez, son reclutadas para múltiples otras funciones. Posiblemente, el acto creativo –la creación– está escrito en códigos que reclutan muchas y diferentes redes neuronales hoy desconocidas y que son, además, cambiantes con el tiempo.

#### ABSTRACTOS, CONCRETOS Y FRUSTRACIONES

Se ha especulado con la idea de que la creatividad se puede deber al choque que surge entre los abstractos creados por el cerebro y «los concretos de las cosas del mundo», de los que precisamente se obtuvieron aquellos mismos abstractos. Sería algo así como una insatisfacción provocada por la inadecuación entre los objetos mentales y los objetos reales, entre las ideas de las cosas creadas por el cerebro y las cosas reales mismas. Algo así como un divorcio entre el árbol que se ve, «real», y el árbol que construye el cerebro en la pantalla de su mente. De ese conflicto nacería una fuerte reacción emocional que daría lugar a una insatisfacción. Y sería precisamente esa frustración (generada por la insatisfacción) el motor de arranque del acto creativo. Esta especulación ha nacido particularmente de la creación artística. El acto creador arrancaría de la necesidad que tiene el artista de encontrar una satisfacción personal ante la frustración que le produce lo que ve u oye en el mundo. Esto le llevaría a crear y hacer ver a los demás su propia obra, que ya no es reflejo de la realidad objetiva sino de «su» realidad mental. Un acto, pues, creador del que, dependiendo de la grandeza de la «inspiración o abstractos» y del talento, genio o fuerza para expresarlos, pueden salir las grandes realizaciones artísticas, desde las geniales hasta las que no lo son.

Pero también los actos creadores en la ciencia podrían explicarse con esa misma perspectiva. En este caso, sin embargo, los abstractos refieren a una cadena de razonamientos obtenidos tras aplicar el método científico, y la frustración nacería ante la inadecuación o conflicto entre la hipótesis científica y los hechos que ésta explica. De esto nacería el impulso que conduce a una nueva luz, a la hipótesis nueva. Y del mismo modo que en el arte, también en la ciencia pueden aflorar ideas geniales no como

resultado de un razonamiento consciente constantemente perseguido, sino como resultado de procesos mentales inconscientes que de pronto afloran a la conciencia. De hecho, tal ha sido el caso en muchos científicos geniales.

## DEL ANÁLISIS A LA INTUICIÓN

Se piensa que las personas están dotadas para perseguir la resolución de un problema, o, si se quiere, dar luz a una nueva idea, a través de dos estrategias cognitivas. Una de ellas se conoce como estrategia analítica, que es aquella en la que ante un problema determinado, sea éste científico o matemático, artístico o en un negocio, el individuo sigue un razonamiento sistemático, es decir, procede a una secuencia lógica de procesos mentales que le conducen finalmente a la resolución de ese problema. Es ésta una aproximación cuya esencia no sólo consiste en realizar una evaluación del problema con el análisis de todas y cada una de las variables y las etapas que se suceden, sino, y fundamentalmente, que al final de ese proceso el individuo alcanza la solución del mismo. En este proceso y en cada uno de los pasos intermedios el sujeto es consciente, en todo momento, de las soluciones parciales que se van sucediendo. Una característica esencial de esta estrategia es que la atención, consciente, está siempre focalizada en el problema hasta su resolución final, sea ésta lograda tras un proceso continuado y sin interrupción o dejado y retomado en períodos de tiempo sucesivos. Durante este proceso de razonamiento sistemático y de atención focalizada en la búsqueda de soluciones concretas se ha visto la activación especial de varias áreas del cerebro, especialmente la corteza prefrontal dorsolateral y orbitofrontal, la corteza parietal, la amígdala, la ínsula y la corteza cingulada anterior, cuyas funciones ya hemos mencionado antes en el apartado de «Neuronas creativas».

Frente a esta estrategia analítica se encuentra la estrategia intuitiva. En esta segunda el individuo encara al inicio el problema comenzando con un procedimiento racional similar al de la estrategia analítica. Esto es, el individuo va del paso A al B y luego al C, hasta alcanzar un punto del proceso, alargado en el tiempo, en el que reconoce con claridad que no puede continuar. Llegado a ese punto, en el que el problema no parece tener solución posible, abandona. Pasado un tiempo, sin embargo, y en un día indeterminado, quizás mientras está pensando en otras cosas, o cuando mantiene una activa conversación con unos amigos, súbitamente, interrumpe su conversación y espontáneamente le viene a la cabeza la respuesta que buscaba. Respuesta que surge tal vez después de días e incluso semanas de no haber vuelto a pensar conscientemente en el problema. Es ese fenómeno conocido como el ¡eureka! de Arquímedes. Lo interesante es que, en contraste con la estrategia analítica, la intuitiva no requiere de un foco atencional constante en el problema hasta llegar a ese eureka, antes al contrario, la solución llega de una manera abrupta mientras el individuo tiene puesta su atención en otras cosas.

Muchos investigadores sostienen que la estrategia intuitiva no difiere de la analítica

más allá de la impronta emocional inconsciente que sucede en aquélla. Pero lo cierto es que hoy empezamos a conocer que ambas estrategias utilizan procesos cerebrales cognitivos diferentes. En cualquier caso, e inferido de los muchos casos de creadores en la historia, tanto de las artes como de la ciencia, hoy se piensa que la estrategia intuitiva es la que posee las características con las que se alcanza el verdadero pensamiento creativo.

## EL EUREKA DE ARQUÍMEDES

Marco Lucio Vitruvio Pollio, el gran arquitecto romano del siglo I antes de Cristo, relata en la Introducción del libro IX de su obra *Los diez libros de Arquitectura* uno de los «numerosos y admirables descubrimientos de Arquímedes... quizá el que muestra un ingenio más extraordinario», señala Vitruvio. Refiere a que el rey Hierón de Siracusa encargó hacer una corona de oro puro a un orfebre al que entregó la cantidad de oro necesaria y exacta. Construida la corona, y tras su entrega al rey, éste escuchó el rumor de que el orfebre podría haberle engañado sustituyendo cierta cantidad de oro por plata. No teniendo el rey la manera de descubrir el fraude, le suplicó a Arquímedes que lo investigara pero sin raspar ni manipular la corona. Se dice que durante mucho tiempo Arquímedes estuvo lidiando con el problema sin poder encontrar la forma de darle una respuesta al rey. Y un día, cuenta Vitruvio:

[...] se dirigía al baño y cuando se introdujo dentro de la bañera observó que se derramaba fuera de ella una cantidad de agua que parecía proporcional al volumen de su cuerpo que iba sumergiendo. Esta puntual observación le hizo ver de pronto la solución a su problema y, sin perder tiempo, lleno de alegría, saltó fuera de la bañera, desnudo, y se dirigió hacia su propia casa manifestando a todo el mundo que había encontrado lo que estaba buscando; y mientras corría gritaba una y otra vez «Eureka», «Eureka» [«Lo he encontrado», «Lo he encontrado»].

Y fue a partir de esa observación, es decir, el desplazamiento de un volumen de agua equivalente al volumen del cuerpo sumergido, que demostró el fraude. Arquímedes midió la cantidad de agua desplazada por una pieza de oro de igual peso al de la corona y también la de una pieza de plata de igual peso. En este último caso, y debido a su volumen, diferente al del oro, la plata desplazó una cantidad de agua mayor. Partiendo de estos hechos, sigue contando Vitruvio:

[...] se había derramado más agua al introducir la corona que el lingote de oro, y haciendo cálculos, descubrió que la corona contenía una aleación de plata y de oro y fue así como puso en evidencia el fraude cometido por el orfebre.

## LAS CINCO CLAVES DEL EUREKA

Este caso concreto, el de Arquímedes, ha permitido trazar ciertas características de lo que ha venido en llamarse «ideas o sacudidas luminosas». Cinco son las características de este tipo de estrategia cognitiva:

- *La primera* es que tras darle muchas vueltas al problema se llega a tener la clara visión de «no poder continuar», de una barrera y con ella de un «impasse». De hecho, Arquímedes, al parecer, se sentía completamente bloqueado e incapaz de encontrar ninguna solución al problema.
- *La segunda* es que quienes experimentan «la idea luminosa» y resuelven el problema no pueden describir el proceso que les ha llevado a resolverlo y con ello a sobrepasar ese impasse.
- *La tercera* es que la «idea luminosa» aparece, muy frecuentemente, cuando la persona no es consciente de que sigue pensando en el problema, como también le sucedió a Arquímedes mientras se metía en el baño.
- *La cuarta* es que los que experimentan la «sacudida» o «idea» son conscientes de que las soluciones aparecen «de pronto» e inmediatamente reconocen que es ésa la solución al problema.
- *La quinta* es que la «idea luminosa» y todos los procesos que llevan a ella en el cerebro se asocian con lo que se ha venido en conocer propiamente como «pensamiento creativo» frente a esos otros procesos asociados con la resolución de problemas, como son el razonamiento sistemático o analítico.

De hecho, es con estas «ideas luminosas» que se piensa se alcanzan «claves nuevas» o «ideas nuevas» tanto en la ciencia como en el arte y en torno a las cuales se trabaja después para darles forma definitiva. Tal es el caso de Mozart que describíamos al principio de este capítulo y también de Tartini, Loewi, Poincaré y Kekule o Demócrito, Miguel Ángel y tantos otros personajes geniales.

Una serie de preguntas persisten: ¿Qué conocemos hoy de las «ideas luminosas» desde la perspectiva de la neurociencia? ¿Qué hizo que, de pronto, y al cabo de tanto tiempo tras abandonar la posible solución al problema que le planteara el rey Hierón a Arquímedes, una simple experiencia como la de tomar un baño trajese la idea genial a su mente? ¿Qué ocurrió de pronto en su cerebro?

## NEURONAS E IDEAS LUMINOSAS

Frente a la estrategia racional y analítica, en la que la solución a un problema se alcanza mediante un proceso consciente y de atención constante, la estrategia intuitiva, la idea luminosa, aparece en personas con la atención dispersa y procesando la información a

nivel inconsciente. Proceso inconsciente que sigue durante mucho tiempo, hasta que de pronto, bien disparado por sucesos externos (cualquier acontecimiento que ocurre alrededor del individuo o producido por el propio individuo; recordemos de nuevo el caso de Arquímedes) o bien por asociaciones espontáneas en la propia memoria en situaciones especiales (recordemos el caso de Mozart), emerge la solución a la conciencia de forma abrupta y espontánea.

Se ha intentado analizar qué ocurre en el cerebro de personas que solucionan problemas en una serie de experimentos recientes utilizando registros por resonancia magnética funcional, así como electroencefalográficos. El ejemplo siguiente sirve para entender la estrategia y el tipo de tests utilizados en estos experimentos. A una serie de personas se las puso delante de un monitor y se les mostró una palabra con transposición de sus letras, de modo que el sujeto debiera recomponer mentalmente una palabra con sentido. Por ejemplo, mostrando la palabra MPXAELE se esperaba que el sujeto compusiera la palabra EXAMPLE. Y así toda una serie de combinados o anagramas. Después se preguntó verbalmente a estas personas cómo obtuvieron sus respuestas. Lo interesante fue comprobar que las personas utilizaron dos estrategias diferentes para encontrar la solución. Unos explicaron que habían encontrado el sentido de la palabra de pronto, abrupta y espontáneamente y con sólo mirar la palabra, sin más. Otros tuvieron la necesidad de recombinar varias veces las letras hasta encontrar el sentido y la aclaración de la incógnita.

A estas personas, y mientras se les mostraban las palabras o frases sin aparente sentido, se les registró la actividad cerebral. Y lo que se comprobó fue que en el grupo que resolvió el problema de forma analítica se activaron principalmente áreas del cerebro izquierdo, mientras que los que lo hicieron de forma intuitiva activaron también, de forma importante, otras áreas de su cerebro derecho. Y esto resulta especialmente relevante. Lo cierto es que el cerebro derecho es un cerebro holístico, es decir, un cerebro que trabaja haciendo asociaciones múltiples y muy distantes tanto en el espacio como en el tiempo y, por tanto, asociando percepciones, memorias o palabras con un foco atencional disperso, lo que no ocurre durante un proceso meticoloso y analítico en la resolución de un problema. En esta serie de experimentos se encontró que en quienes resolvieron el problema de forma «intuitiva» hubo una activación especialmente intensa en un área muy concreta del cerebro derecho, la parte antero-superior del giro temporal, área cerebral que procesa el reconocimiento del significado de palabras o de reconocimiento y asociación de significado de palabras con una relación muy distante. Cuando en estos estudios se hicieron simultáneamente registros electroencefalográficos finos y focalizados, se encontró que abruptamente, unas 300 milésimas de segundo antes de que el individuo fuera consciente de la respuesta de modo intuitivo, se registra alrededor de esa área en la corteza temporal derecha una actividad específica de 40 herzios, banda gamma, fenómeno que no se registró en los cerebros de aquellas personas que alcanzaron la solución al sentido de la palabra con la estrategia «analítica».

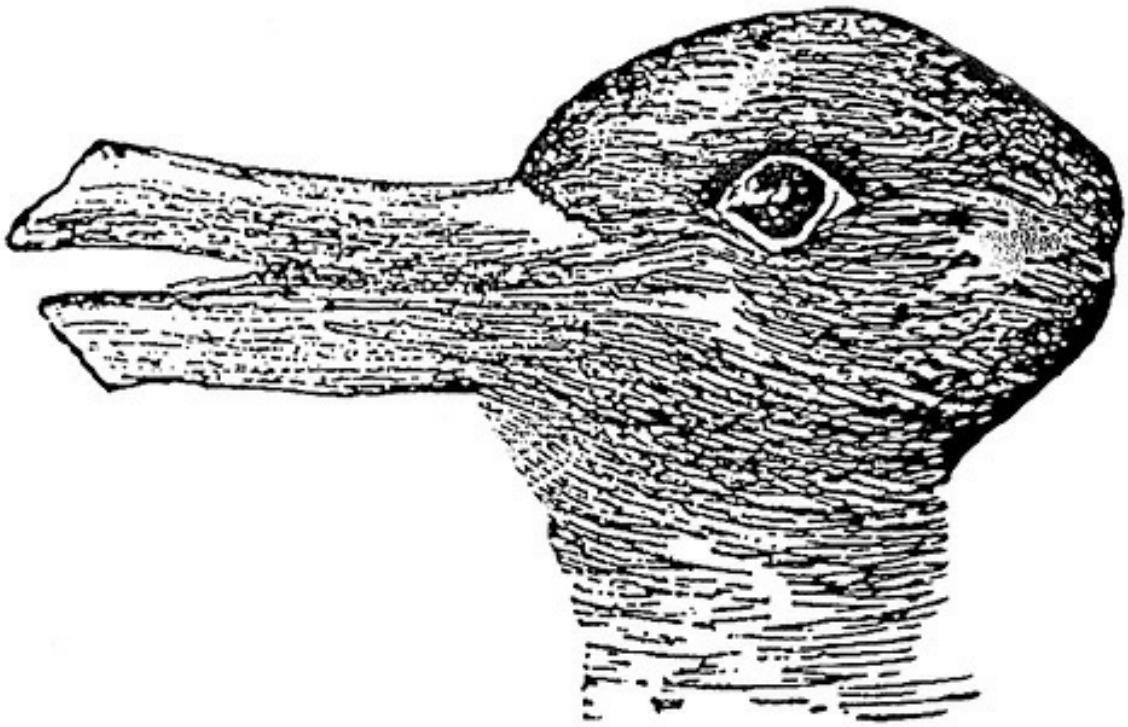


FIGURA 15. Figura ambivalente (pato-conejo).

La banda gamma, o ciclos de 40 ondas por segundo, es una actividad cerebral que viene siempre asociada en el cerebro con la toma espontánea de conciencia. Por ejemplo, hay figuras o dibujos que se llaman ambivalentes porque en ellos se puede percibir, según se focalice la atención, un significado u otro. Quizá el más conocido es el dibujo que representa un pato o un conejo (véase figura 15). En esta figura se puede ver o bien el pato o bien el conejo, pero nunca ambos a la vez. Para ver una u otra alternativamente se requiere de actos perceptivos diferentes que precisan un tiempo determinado y que está alrededor de las 150 milésimas de segundo. Pues bien, cuando el individuo centra su atención en un lado de la figura y ve, por ejemplo, el pato, aparecen, unas milésimas de segundo antes, los ciclos de 40 herzios en las áreas de percepción visual. Este fenómeno se piensa representa el ensamblaje de la actividad neuronal sustratocerebral de ese acto perceptivo consciente (el «yo saber que estoy viendo algo con significado»). Eso es precisamente lo que ocurre en el cerebro 300 milésimas de segundo antes de que el individuo emita su respuesta indicando que ha resuelto el dilema presentado de forma intuitiva. Todo esto nos acerca, aun cuando sólo sea de forma tímida y referida exclusivamente a la resolución de problemas semánticos, a conocer cómo el cerebro diseña estos dos tipos de estrategias creativas, tanto la que hemos convenido en llamar intuitiva o más propiamente «creativa» como la más metódica o analítica. Sin duda que un proceso creativo real alcanza registros cerebrales mucho más complejos, involucrando, tanto simultánea como secuencialmente, múltiples áreas del cerebro, y

tanto del cerebro derecho como del izquierdo. Y también características y diferencias cerebrales claramente individuales, señala Kounios:

Es altamente posible que en la creatividad las diferencias individuales en el funcionamiento de la actividad basal del cerebro jueguen también un papel importante y que ello se deba tanto a diferencias en la neuroanatomía y los circuitos neuronales como a la dinámica de los neurotransmisores, todo lo cual puede deberse tanto a la genética como a la experiencia personal acumulada.

## Y MÁS ALLÁ, INNOVANDO

La innovación es una consecuencia del proceso creativo. Innovación es creatividad aplicada. Innovar es transformar, cambiar, dar una nueva perspectiva a lo creado y hacerlo altamente adaptado a la sociedad o al mercado específico del que se trate. Por ejemplo, utilizando nuevas tecnologías. Es un proceso fundamental en los planes de estrategia de una empresa a la hora de diseñar nuevos productos. Según el Manual de Oslo de la OCDE (2005), innovar es

La implementación de un *producto* (bien o servicio), o *proceso* nuevo con un alto grado de mejora o un *método* (de comercialización u organización nuevo) aplicado a las prácticas de negocio, al lugar de trabajo o a las relaciones externas.

Innovar es, en esencia, todo proceso que sigue a la creatividad y es motor básico en el desarrollo de las sociedades transformándolas y transformando con ello, a su vez, la cultura en que se vive.

La innovación, como la creación, es un proceso individual, pero siempre realizado en un contexto y una institución, sea una industria, un banco o una institución académica. Los negocios y las transacciones comerciales en particular, tanto si son para generar beneficios como si no, progresan gracias a la innovación, y ésta a su vez se acelera por los cambios que otros introducen en el mercado con sus propias innovaciones. Crear e innovar, en definitiva, son dos aspectos cruciales en la transformación de las sociedades en el siglo que comienza.

Creatividad e innovación son la clave para el progreso del conocimiento en general y del éxito de un negocio en particular, sobre todo cuando se estudian planificación y estrategias a seguir y cuando se diseñan nuevos productos y servicios. Es evidente que una parte esencial del motor que mueve una empresa es la innovación, y que ésta requiere la formación de un personal que piense y focalice su trabajo en esa dirección específica de la innovación; es decir, darle vueltas a un diseño, a un invento, a un producto y ofertarlo con una nueva perspectiva altamente adaptada al mercado concreto al que vaya dirigido. De ahí es de donde nace toda esa cantidad de cursos, libros, revistas especializadas y máster en el mundo de la empresa actual y de las propias universidades.

Innovación es, en definitiva, riqueza. Creatividad e innovación son un binomio que rueda muy deprisa en las sociedades modernas, tanto que, casi inmediatamente tras producirse un producto nuevo, éste alcanza un océano que expande esa nueva información al resto del mundo a una velocidad de vértigo.

La innovación es un proceso cerebral que requiere particularmente de la memoria, en tanto que, constantemente, la persona que innova necesita tener un gran conocimiento previo de soluciones creativas relacionadas específicamente con el objeto a cambiar y renovar. Y sobre todo, ese proceso de innovación requiere del talento, la capacidad o las habilidades del individuo para encajar el producto innovado en el contexto de una cultura y una sociedad determinadas. Precisamente, el talento y no la genialidad es lo que hace al innovador capaz de adaptar mejor al mundo real los objetos creados.

## ¿ENFERMAN LAS MARIPOSAS DEL ALMA? O CÓMO FUNCIONA UN CEREBRO QUE MAL FUNCIONA

A los veinte años, un viento huracanado, una tempestad desplegada en filos de cuchillo y círculos de fuego destrozó el paisaje verde y vigoroso. Cortó desde las hojas hasta las raíces. Hirió mortalmente la unión de la savia con la tierra. Y el hombre, como la planta, murió en una agónica metamorfosis que transcurría lenta y silenciosa por entre los pasillos de aquel lugubre hospital. Y aquel hombre de raíz profundamente inteligente me hablaba de los signos cabalísticos de Cleopatra. Del Cómputo greco-latino. De los burlos y los inmofantillos. [...] Se habían roto sus ataduras con el mundo y los hombres. Sus experiencias no me eran dadas en términos equivalentes a los míos. Era todo un nuevo lenguaje... Mi amigo A. S., estudiante de tercero de medicina, había sufrido un brote esquizofrénico. ¿Qué sucedió en el cerebro de A. S.?

FRANCISCO MORA

... Células de formas delicadas y elegantes, las misteriosas mariposas del alma, cuyo batir de alas quién sabe si esclarecerá algún día el secreto de la vida mental.

SANTIAGO RAMÓN Y CAJAL  
*Recuerdos de mi vida: Historia de mi labor científica.*

Conocí a A. S., cuando ya era un enfermo crónico, en un hospital psiquiátrico. Era estudiante de medicina cuando sufrió un brote esquizofrénico. Tenía 19 años. Pertenecía a una familia acomodada sin antecedentes de enfermedades psiquiátricas. Quizá por ello, y por el estigma que representaba la locura, fue aislado en una finca de la serranía andaluza, donde al parecer no tenía contacto más que con el casero que le cuidaba. Por sus accesos de agresividad permaneció atado a una camisa de fuerza durante más de dos años, hasta que finalmente fue ingresado en un hospital psiquiátrico.

¿Qué sucedió en el cerebro de A. S.? ¿Qué generaba las voces que oía insultándole y que él atribuía a las personas de su entorno? ¿Qué le hacía concebir de pronto un mundo agresivo hacia él que le generaba tanta inseguridad y ansiedad? Es fácil entender que haya cambios en la conducta de un ser humano producidos por un tumor que oprime físicamente al cerebro, por una hemorragia con lesión de las neuronas o por alguna enfermedad degenerativa que objetivamente muestre un daño cerebral. Pero ¿cómo entender un cambio de conducta inusitado, sin daño cerebral aparente, tan profundamente desajustado con la vida anterior que además el mismo paciente justifica como cambio «del mundo frente a él», y no como un cambio «de sí mismo»?

La enfermedad mental, la esquizofrenia en particular, cuya incidencia en el mundo llega a casi un 1%, sigue siendo una brutal ofensa a lo más íntimo del ser humano, un insulto, como señalaba A. S. Algo ajeno y fantasmal impuesto a la persona. Algo que el enfermo no puede concebir sin sentirse enajenado. ¿Cómo puedo yo sentirme enfermo en mi «espíritu», en la propia esencia de quien soy, siente y concibe? Puedo sentirme

enfermo porque tengo una herida en el pie, una úlcera en mi estómago e incluso una lesión en mi cerebro, porque éas son partes de mi cuerpo que «yo» veo y puedo entender que están enfermas. ¿Pero a mí mismo? ¿Qué otra referencia de mí mismo puedo tener que no sea ese «mí mismo»? ¿Cómo podrían los procesos mentales alterados ser referencia de ellos mismos como si fueran de otro? Por eso un esquizofrénico no puede reconocer su propia enfermedad.

Me contaba Juan José López Ibor el caso de una joven esquizofrénica, cuya enfermedad estaba en parte controlada, que venía siendo tratada por él con neurolépticos. Llegó un punto en que la enferma se negó a tomar la medicación porque ella –decía– no se sentía enferma. ¿Para qué, entonces, tomar más pastillas? A la paciente se le hizo una exploración con una tomografía por emisión de positrones. Y al doctor López Ibor se le ocurrió mostrarle aquellas imágenes coloreadas diciéndole: «¿Ve usted esta manchita de aquí en su cerebro? Pues bien, esa mancha es la alteración que produce su enfermedad. Lo que usted tiene es lo mismo que si tuviera la mancha en la piel de la cara o en cualquier otra parte de su cuerpo, pero esta mancha está en su cerebro. Y eso es lo que hay que curar para que no vaya a más». «Desde aquel momento –me dijo el doctor López Ibor–, aquella paciente volvió a tomar la medicación.» Y es que, efectivamente, la locura es un estigma, una mancha en lo más íntimo del individuo, en su «yo». Y el ser humano necesita ver «fuera» de él, sea en su cerebro o en su brazo, lo que está «enfermo» para reconocer la necesidad de curarlo. Así funciona el cerebro. Y hoy muy pocos neurocientíficos o psiquiatras dudan que las enfermedades mentales son enfermedades del cerebro. «La psiquiatría contemporánea estudia las enfermedades mentales como enfermedades que se manifiestan en lo mental pero que tienen su origen en el cerebro», señala Andreasen (1997).

Y éste es, precisamente, el nudo gordiano que la psiquiatría actual tiene que desenrollar, es decir, intentar conocer qué ocurre en el cerebro y su funcionamiento, cuya expresión en los procesos mentales da lugar a tan aberrantes patrones de pensamiento y conducta. Esto claramente no lo puede hacer la psiquiatría clínica sola, sino que necesita de la colaboración decidida de las ciencias del cerebro, las neurociencias. Sin embargo, las neurociencias hoy todavía se encuentran andando el camino duro de anclar los procesos mentales, llamémosles «normales», al cerebro y sus procesos químicos, físicos y moleculares. Y si todavía hay inmensas lagunas, un inmenso abismo sin llenar, en ese salto de la palabra a la molécula para cuando se trata de procesos mentales organizados y coordinados en una secuencia de entendimiento lógico, ¿en qué medida nos es posible hacerlo para procesos mentales desorganizados sin un hilo de ligazón coherente?

En cualquier caso, ¿es posible de algún modo anclar la enfermedad «mental» a lo «cerebral»? ¿Qué aportan las neurociencias actuales a la psiquiatría? ¿Qué aportan las nuevas tecnologías de imagen cerebral, como la resonancia magnética nuclear o la emisión de positrones? Y quizá lo más relevante en el contexto de este libro, ¿cómo

funciona el cerebro para dar lugar a síntomas mentales tan aberrantes? ¿Qué relación existe entre la enfermedad mental y los procesos mentales creativos? Y además, ¿nos aporta este conocimiento algo para mejor entender cómo funciona el cerebro humano normal? Comencemos desde el principio.

## DE LA PALABRA A LA MOLÉCULA

La neurociencia actual persigue añadir piezas a una hipótesis que dé coherencia a la unificación del conocimiento sobre el hombre, lo que incluye sus patologías tanto neurológicas como psiquiátricas. A ello se atiene el Proyecto Cerebro Humano creado en 1980 (Mora, 2001). La idea de este proyecto persigue crear una base de datos incluyendo todos los conocimientos de la neurociencia y buscar con ello, además, posibles nuevas tecnologías capaces de investigar nuevos retos teóricos.

Varias agencias norteamericanas han ratificado y avalado este proyecto en un intento parecido a lo que ocurrió con el Proyecto Genoma Humano, del que tanto fruto se ha obtenido. Un proyecto de estas características necesita científicos e informáticos de alta preparación que trabajen en áreas de conocimiento diferentes pero afines que permitan romper esos saltos discontinuos que existen entre niveles de análisis y estudio. Niveles que van desde los genes y sus productos, las proteínas, pasando por la microestructura de la neurona y otras células del sistema nervioso, como la glía, junto a su funcionamiento, hasta los microcircuitos neuronales a lo largo y ancho del cerebro y de ahí saltar a los entresijos o componendas neurobiológicas de una operación mental y a cómo las operaciones mentales se engarzan entre sí para formar los sistemas cognitivos. Ya hemos hablado de ello a propósito de la mente y la conciencia en el capítulo anterior. Focalicemos ahora ese mismo análisis teniendo como perspectiva específica las enfermedades mentales.

El más básico de todo este análisis es el de la genómica y proteómica. A este nivel, el esfuerzo reside en identificar enfermedades asociadas o causadas por mutaciones genéticas y desarrollar ratones transgénicos que expresen esos genes tratando de bloquear su acción en cuanto a su expresión en la estructura y función neural y también encender o apagar genes en estadios específicos del desarrollo o el juego de interacción de proteínas que medien en el almacenamiento y liberación de neurotransmisores. De todo ello, lo más difícil y lo que se presenta quizás como más desafiante es determinar en qué circuitos cerebrales se expresan normalmente los genes correspondientes y estudiar cómo ese patrón de expresión génica resulta alterado tanto por su interacción con un medio ambiente determinado como por una determinada enfermedad (mental).

Dicho así pareciera que todo es dependiente de que se haga una gran cantidad de trabajo en el campo de las neurociencias y la conducta y que con ello los problemas teóricos cualitativos tanto en neurociencia como en psiquiatría se resolverán por sí solos. Pero no es así. Las neurociencias se enfrentan a un problema fundamental, que es el del

entendimiento entre niveles de conocimiento. Por ejemplo, «conocer el nivel celular y molecular, aun exhaustivamente, es necesario pero no suficiente para entender el nivel de circuito» (Churchland y Sejnowski, 1992). Es necesario estudiar los saltos entre niveles, o, si se quiere, estudiar la emergencia a un nuevo nivel de propiedades no existentes en el nivel precedente. Pero entiéndase bien que en la perspectiva de la neurociencia actual (que sólo tiene una perspectiva monista de identidad entre cerebro y mente) la emergencia de nuevas propiedades es «reducible» al nivel inferior si conociéramos las leyes que gobiernan los constituyentes y sus relaciones a este nivel; es decir, nada emerge nuevo sin poder ser reducido, de alguna manera, al nivel inferior. A esto le llama Dennet «emergencia inocente». En esta misma línea de pensamiento se encuentran la mayoría de los científicos. Un buen ejemplo lo señala Zeki (1995): «la visión de los colores, por ejemplo, es una característica de un circuito neuronal con ciertas propiedades. De ello no se sigue que las neuronas individuales que componen el circuito sean capaces ellas mismas de ver en color». Todo ello señala la cantidad ingente de trabajo no sólo cuantitativo, sino cualitativo, y de nuevos hallazgos necesarios para entender la estructura y la unificación del hombre.

Todo esto incide claramente en la psiquiatría y en la comprensión de las enfermedades así llamadas mentales. Por de pronto esta aproximación reitera la idea monista de una identidad entre procesos cerebrales y procesos mentales aun cuando en el momento actual desconozcamos las leyes que gobiernan los diferentes niveles de análisis que se utilizan para estudiar el cerebro o la mente. En este contexto es obvio decir que neurociencia y psiquiatría tienen que estar en el mismo marco de referencia. En otras palabras, procesos mentales alterados, sean neuróticos o psicóticos, son procesos cerebrales alterados.

En un editorial de la revista *Nature* (2001) se destacaba este inmenso esfuerzo necesario, interdisciplinar, para intentar esa «escalada» entre niveles y de la bioquímica a la cognición poniendo como ejemplo las enfermedades mentales. Decía el editorial:

Por ejemplo, considere la esquizofrenia, la cual ha sido intensamente estudiada por tan diversas disciplinas como la genética, farmacología, neuroanatomía, técnicas de imagen funcional y psicología. Y a pesar de la acumulación de datos relacionados con cada una de estas disciplinas no se ha producido un entendimiento global de cómo todo ello está relacionado. Sabemos, por ejemplo, que las drogas antipsicóticas actúan sobre los receptores dopaminérgicos y que con ello se alivian los síntomas de la enfermedad, pero ello sin un entendimiento detallado de las etapas intermedias que participan en el proceso, es decir, cómo la droga afecta a la fisiología celular que a su vez afecta a la función de los circuitos cerebrales, dando lugar a los cambios de la conducta; el número de interpretaciones posibles de este hallazgo es tan grande que sólo permite una aproximación teórica muy limitada, a pesar del valor práctico encontrado, que es obvio. Éste es un problema general, el de tratar de unir o conectar los hallazgos

moleculares con los conductuales; y a menos que estas conexiones puedan realizarse, todo este trabajo, el trabajo actual, no produce más allá de un catálogo de relaciones fenomenológicas.

## LOS CINCO PRINCIPIOS DE KANDEL

La esencia de cuanto acabamos de describir podríamos resumirla en lo que Kandel (1998), neurobiólogo y psiquiatra, premio Nobel de Fisiología y Medicina (2000), ha llamado cinco principios. Y éstos son los siguientes:

1. Todos los procesos mentales, incluso los procesos más complejos, derivan de operaciones del cerebro.
2. Los genes y sus productos, las proteínas, son importantes determinantes de los patrones de interconexiones entre las neuronas del cerebro y los detalles de su funcionamiento (como corolario, habría que indicar que un componente que contribuye al desarrollo de las enfermedades mentales más graves es genético).
3. Exactamente igual que las combinaciones de genes contribuyen a la conducta (incluyendo la conducta social), recíprocamente la conducta y los factores sociales pueden ejercer sus acciones sobre el cerebro modificando la expresión de genes y consecuentemente alterando las funciones de las neuronas y sus circuitos.
4. Cambios en la expresión genética producidos por el aprendizaje dan lugar a nuevos patrones de conexiones neuronales.
5. En tanto que la psicoterapia es efectiva en producir cambios a largo plazo en la conducta de los pacientes y los producen presumiblemente a través del aprendizaje, ello debe producir cambios en la expresión de genes que modifican la fuerza de las conexiones sinápticas y cambios estructurales neuronales que, a su vez, transforman los patrones anatómicos de interconexiones entre neuronas del cerebro.

## ALGUNAS PIEZAS CEREBRALES DEL «ROMPECABEZAS» MENTAL

Por de pronto debiéramos admitir que hoy, todavía, no hay ningún marcador claro, biológico (expresado en cualquier parámetro corporal o cerebral), que nos delimita las enfermedades mentales. La definición de enfermedad mental todavía sigue enmarcada fundamentalmente en toda aquella colección de síntomas que dan lugar a una conducta social aberrante. Sin embargo, ya hay un camino que permitirá eventualmente encontrar una convergencia entre neurociencia y psiquiatría cuyos resultados no sólo permitirán entender las enfermedades mentales desde su fundamento básico, el cerebro, sino encontrar nuevas vías de tratamiento. ¿Pero por dónde se comienza en lo que hoy es un

parallelismo entre psiquiatría y neurociencia que eventualmente termine en una convergencia de entendimiento?

Un desbroce del camino comienza con el reconocimiento, hoy explícito, de que las dos grandes entidades de la psiquiatría (aquellas de la esquizofrenia y la depresión) no son tales enfermedades singulares, sino posiblemente un grupo de enfermedades cubiertas tanto por ese amplio paraguas que llamamos esquizofrenia como aquel otro de la depresión (de la que al menos han sido descritos 18 posibles subtipos). El hecho de que estas dos grandes entidades psiquiátricas estén constituidas por otras tantas enfermedades nos permite entrever su asociación a síntomas o procesos mentales anormales específicos para cada una de ellas, que consiguientemente obedezcan a cambios diferentes de la estructura o funcionamiento del cerebro.

¿Qué es la esquizofrenia? Hablamos de un proceso en el que, según Andreasen (1997, 1999), los síntomas incluyen alteraciones en casi todos los campos de las funciones cerebrales:

Percepción (alucinaciones), secuencia del habla y el pensamiento (alogia), claridad y organización del pensamiento (disgregación), actividad motora (catatonía), emociones (embotamiento), habilidad para iniciar y completar una determinada conducta para la obtención de un objetivo determinado (avolición) y habilidad para buscar y experimentar una gratificación emocional (anhedonia). Sin embargo, por un lado, no todos estos síntomas se presentan en un paciente concreto y, por otro, ninguno es patognomónico de la enfermedad. Un análisis inicial de la diversidad de los síntomas podría sugerir que en esta enfermedad participan múltiples regiones cerebrales (Andreasen, 1977).

Quizá uno de los sistemas cognitivos más afectados en esta enfermedad es el de los sistemas atencionales, es decir, aquellos sin los cuales un individuo no puede ser consciente de algo. Al parecer, esta falta de atención es uno de los síntomas más característicos de los pacientes esquizofrénicos en tanto que no se presenta en otros pacientes psiquiátricos como son, por ejemplo, los afectos de depresión. Todos los procesos anormales antes descritos se relacionan de alguna manera con las alteraciones de la atención. De este modo, la falta de capacidad de concentración y focalización de la atención (bien dirigida a atender una información sensorial, bien a cohesionar un razonamiento) da lugar a las interpretaciones (pensamiento) y expresión (lenguaje) anormales. Algo así como si faltase el imán que orientase adecuadamente todas esas partículas de hierro que hay dispersas en el cerebro (diversidad de funciones) y con el que se ponen en conjunción y dan coherencia a aquello que es el hilo mental normal.

Todo esto nos lleva al tema de la conciencia en la esquizofrenia. Precisamente la atención es uno de los ingredientes básicos para los procesos de conciencia. Pues bien, durante mucho tiempo se ha sostenido que el trastorno nuclear del paciente esquizofrénico es un trastorno de la conciencia. Es decir, de los mecanismos que ponen

en conjunción todos los demás ingredientes de la función mental, desde la percepción y el razonamiento hasta la ejecución de ciertas capacidades motoras.

En el capítulo anterior vimos que una de las hipótesis propuestas con más fuerza acerca de las bases neurobiológicas de la conciencia era la del «centro dinámico» de Tononi y Edelman (1998) (véase capítulo 7 sobre la mente y la conciencia). Es decir, aquella hipótesis en la que se considera que cada acto de conciencia (con una duración de 100 milésimas de segundo) es consecuencia del agrupamiento funcional de neuronas distribuidas ampliamente en toda la corteza cerebral y tálamo. ¿Pudiera ser que la construcción de ese racimo o conjunto neuronal que subyace a cada acto singular de conciencia no se realice adecuadamente en el esquizofrénico? Y en particular ¿que en ese reclutamiento neuronal desempeñase un papel sobresaliente la disfunción de la memoria de trabajo en la corteza prefrontal dorsal (área, por otra parte, hipofuncionante en estos pacientes)? ¿Puede –como señala Edelman (2000)– que estas condiciones patológicas den lugar a racimos de actividad neuronal anormal, fraccionados, y no haya, por tanto, un racimo único y completo?

Una predicción razonable podría ser que en ciertas enfermedades de la conciencia, notablemente enfermedades como la esquizofrenia, se reflejen en anormalidades del centro dinámico que pudieran resultar en la formación de múltiples centros. De hecho, algunos experimentos realizados sugieren que tal pudiera ser el caso (Edelman, 2000).

Diversos estudios utilizando PET u otras tecnologías han ido aclarando y desbrozando cambios en la activación del cerebro del paciente esquizofrénico que difieren significativamente de aquellos que ocurren en el cerebro de una persona normal; tal es el caso para regiones como la corteza cingulada anterior (región cerebral clave en los procesos cognitivos que traducen intención en acción) y la corteza frontal dorsolateral (memoria de trabajo) (Paus, 2001; Goldman-Rakic, 1994). Esta última, la corteza frontal, presenta una hipoactividad, sobre todo en enfermos que ya llevan cierto tiempo con el desarrollo de la enfermedad. Esta hipoactividad frontal se detecta tanto en condiciones basales como en condiciones en las que el paciente realiza una operación mental para la que tiene que activar específicamente la corteza prefrontal dorsolateral (área del cerebro cuyo funcionamiento es imprescindible para mantener en la mente algo que ha sido visto y entendido pero que ya no está físicamente delante del paciente). Ambas, la corteza prefrontal dorsal y la corteza cingulada, tienen conexiones anatómicas importantes y al parecer codifican información que lleva de la planificación y la intención a la acción (expresada esta acción en el lenguaje, por ejemplo). Es de esta manera que un cambio o alteración funcional de las conexiones entre estas dos áreas del cerebro puede dar lugar a la elaboración anormal del pensamiento y el lenguaje de estos pacientes. ¿Qué ocurriría si a una persona normal, en condiciones de laboratorio, se le desactiva la corteza prefrontal dorsolateral e incluso la corteza cingulada? ¿Cuáles serían

los procesos de atención y percepción alterados y también la elaboración de un determinado procesamiento mental? Y esto se me ocurre porque hoy es posible con estimulación electromagnética transcraneal desactivar funcional y reversiblemente un área específica del cerebro y silenciar así su actividad. ¿Nos podrían llevar estos supuestos experimentos a conocer mejor la desorganización del pensamiento que ocurre en la esquizofrenia?

Y ¿qué podríamos decir de esa otra gran entidad psiquiátrica que es la depresión endógena? De nuevo nos lo señala Andreasen (1997):

Se caracteriza por un sentido profundo de tristeza, muchas veces desencadenada sin ninguna causa que lo pueda justificar, acompañada de un enfentamiento en la elaboración de pensamientos e incluso en movimientos (retardo psicomotor), insomnio, anorexia, cambios en las funciones de los ritmos del día, dificultad en concentrarse o pensar y sentimientos de desesperanza y culpa.

Hay una profunda alteración en la reacción emocional del paciente con el consecuente aislamiento del mundo que se expresa en una falta de sentir nada, ningún placer, por lo que sucede a su alrededor. En esta situación, el enfermo entra en un estado en el que le faltan las fuerzas y las ganas incluso para mantener aquellos aspectos más básicos de la supervivencia como son comer o beber o dormir. Todo ello lleva al enfermo a perder la autoestima y a pensar en la muerte y cometer actos de suicidio.

Estudios recientes utilizando técnicas de imagen cerebral como el PET han encontrado consistentemente, al igual que para la esquizofrenia, una hipofunción de la corteza prefrontal medial y dorsolateral izquierda y junto a ello un aumento en el flujo cerebral de áreas como la amígdala en el sistema límbico (emoción). En concreto, la amígdala parece tener un papel importante en este tipo de enfermedad mental. Son interesantes a este respecto los hallazgos mostrando que en pacientes que se han recuperado de un proceso depresivo y ya no están tomando medicación (pero con una historia recurrente de brotes depresivos) la amígdala sigue presentando cambios en el flujo sanguíneo. En contraste con ello, pacientes que se han recuperado o se están recuperando de su depresión pero que siguen tomando la medicación antidepresiva tienen un flujo sanguíneo normal en esta área del cerebro.

El cuadro de las grandes entidades psiquiátricas se completa con la enfermedad maníaco-depresiva (también llamada bipolar, con episodios bien de manía bien de depresión, aislados o consecutivos de uno a otro). Durante el periodo de manía, el paciente presenta ideas de grandeza, expresión de realización de grandes proyectos con ideas delirantes, un estado de enorme exaltación emocional y gran ansiedad. Frente a ello, el mismo paciente, durante el episodio depresivo, presenta el cuadro que ya hemos descrito al hablar del brote depresivo con una emoción derruida ante el mundo y tal falta de fuerzas y recompensa que le llevan al aislamiento y las ideas de muerte y suicidio.

## PROFUNDIZANDO EN EL CEREBRO

La neurociencia cognitiva es la ciencia que trata de anclar los procesos mentales al cerebro. Esta disciplina nació propiamente hace unos veinte años y tiene sus orígenes en la denominada psicología experimental, es decir, la disciplina que trata de estudiar la conducta en relación con los procesos cerebrales. Durante la década de los setenta del siglo XX, la mayoría de los estudios de esta naturaleza fueron dedicados a analizar los sistemas de recompensa. Frente a los conductistas y «la caja negra» del cerebro, la psicología experimental abrió la perspectiva de que en toda conducta, e incluso en la percepción del mundo, había un proceso de elaboración de esa percepción que corresponde al cerebro. No sólo era válida la observación de la conducta como tal o de los estímulos del mundo que la provocan, sino el reconocimiento de la necesidad de estudiar el cerebro como procesador de información que da lugar a una determinada salida de conducta. La psicología, pues, ancló de alguna manera sus observaciones en el cerebro.

La psicología cognitiva es un intento de determinar y disecar los elementos básicos que componen los sistemas que procesan la información del mundo y nuestra reacción (conducta) ante esos procesos, es decir, lo que llamamos procesos cognitivos; por ejemplo, la memoria, el aprendizaje, el lenguaje, la percepción de caras, la atención, el cálculo o la resolución de problemas, emociones específicas, como el miedo, etc. La neurociencia cognitiva es, como ya hemos señalado, la disciplina encaminada a ahondar esos correlatos en la profundidad del cerebro. Ello implica el conocimiento de la intimidad molecular de los procesos que tienen lugar en los circuitos distribuidos en varias áreas de la corteza cerebral y que codifican para diferentes funciones mentales. Esto último tiene un correlato importante, cual es la idea de que una determinada disfunción cognitiva puede no residir en un área concreta del cerebro, ni siquiera en dos o tres con lesiones estructurales visibles, sino en una disfunción molecular cuya consecuencia es un cambio en el patrón funcional, temporal, con el que estos circuitos específicos elaboran una determinada función.

Pues bien, en este progresivo avance hacia un conocimiento unificado del cerebro-mente-enfermedades mentales se están realizando intentos de crear una nueva neuropsiquiatría cognitiva, en la que se trataría de sacar ventaja de la psicología cognitiva y la neurociencia cognitiva lanzando un puente entre procesos mentales alterados y cerebro. En esta nueva disciplina, el intento no consiste en estudiar una enfermedad (digamos la esquizofrenia o la depresión) como conjunto, sino en entresacar o disecar un síntoma particular relacionado, por ejemplo, con la atención o la percepción (las alucinaciones auditivas en el esquizofrénico serían un buen ejemplo) y enmarcarlo en un sistema cognitivo implicado en estas manifestaciones. Y de ello sacar, a su vez, inferencias específicas sobre la disfunción de dicho sistema cognitivo en relación con los sustratos neuronales y moleculares. Por tanto, esta nueva aproximación va más allá de

una mera clasificación de síntomas y diagnóstico de la enfermedad para dar una explicación más analítica de un proceso psiquiátrico (Halligan y David, 2000).

De este modo es como se van proponiendo modelos cognitivos capaces de entrar en la intimidad del procesamiento de información del cerebro y entender así patologías que quedaban a niveles de la pura descripción. Por ejemplo, el modelo cognitivo del procesamiento que se sigue en el cerebro para el reconocimiento de las caras es ilustrativo al respecto y nos sirve además para entender los síntomas que aparecen en síndromes de despersonalización bien tipificados de la patología cognitiva humana, como son los casos de prosopagnosia y de Capgras.

## DESAPARICIONES E INVASORES

La prosopagnosia es un síndrome caracterizado por la falta de reconocimiento de las caras familiares. El enfermo reconoce estar viendo una cara pero no sabe a quién corresponde: el significado de la cara ha desaparecido para estos pacientes. Por su parte, en el caso del síndrome de Capgras, el paciente reconoce físicamente una cara y también si se trata de la cara de una persona familiar, pero cree que esa persona ha sido ocupada o invadida por un impostor. En otras palabras, el enfermo reconoce que la cara y también el cuerpo, los ademanes y la voz parecen ser los mismos que los de su familiar o amigo, pero cree que en realidad no es él, sino que ha sido suplantado por alguien, otra persona, un doble, que es casi idéntico a él. El estudio de estos dos síndromes desde la perspectiva de esta nueva neuropsiquiatría cognitiva permitiría entender, a través del análisis y procesamiento de la información de un sistema cognitivo como es el del reconocimiento de caras, que puedan coexistir componentes intactos con otros lesionados o malfuncionantes.

Ya hemos visto en otras partes de este libro (capítulos 3 y 4 y también el capítulo 7 sobre la mente y la conciencia) cómo se sigue la información en el cerebro desde que vemos algo (en los casos que estamos comentando, la visión de una cara) hasta que ese «algo» visto se hace consciente, y cómo esta información se procesa por vías seriadas (integración convergente) y paralelas en el cerebro. Con este esquema sería fácil entender que, dependiendo del nivel de una determinada alteración o lesión en este sistema de procesamiento, se produzcan síntomas o alteraciones que pueden tener un enorme rango y variabilidad y que van desde casos como los de las acromatopsias o acinetopsias o incluso la visión ciega a estos otros de prosopagnosia o síndrome de Capgras que hemos referido.

Efectivamente, es posible que en estos enfermos, cuando están viendo una cara familiar (en una fotografía o personalmente), la información visual de los elementos que la componen, como la forma y el color o incluso el ingrediente de la conciencia (el paciente ve una cara y sabe que ve una cara y puede describir perfectamente sus rasgos), pueda ser procesada normalmente, pero también es posible que el componente

emocional consciente de esa cara, el que es obtenido al entrar la información en los circuitos límbicos (amígdala), pueda estar lesionado o impedido (prosopagnosia), o bien que sólo uno de los muchos componentes de esa información emocional (como, por ejemplo, la información que desde la amígdala va al hipotálamo y a través de esta última estructura la activación del sistema neurovegetativo o autónomo) sea el que está afectado (síndrome de Capgras).

Así, en la prosopagnosia es posible que esté dañado el sistema emocional consciente cognitivo del reconocimiento de las caras (o una serie de ellos), de tal modo que el paciente reconoce que está viendo una cara pero «no sabe», no es consciente, a qué cara «emocional» corresponde. Y puede que junto a ello, sin embargo, la vía o el componente inconsciente de reconocimiento emocional de esas caras esté intacto. De hecho, si a una persona normal se le muestra una cara familiar querida en una fotografía, no sólo muestra un reconocimiento emocional que le lleva a distinguir esa cara de otras, sino que muestra una alta conductancia eléctrica de la piel ante ese reconocimiento. Es decir, ha tenido una activación normal de su sistema neurovegetativo. Pues bien, esto último (una alta conductancia eléctrica en la piel) también sucede en este tipo de pacientes con prosopagnosia, en los que, a pesar de su falta de reconocimiento consciente de la cara familiar, hay una respuesta emocional vegetativa intacta. Esto es indicativo de lesión de ciertos puntos en ese sistema cognitivo de reconocimiento de caras.

En el síndrome de Capgras, el caso es diferente. El paciente reconoce perfectamente la cara del familiar que está viendo, pero señala, como ya hemos indicado, que no es en realidad su familiar, y que otro ser ha invadido su cuerpo. En este caso, cuando ve a su familiar querido o la foto del mismo, tiene el sentimiento de que no es él, le falta «el calor emocional» que le impide hacer ese reconocimiento. Estos pacientes no responden a la visión de la cara del familiar con una respuesta a la conductancia de la piel, lo que habla claramente de una respuesta emocional inconsciente anormal. Precisamente se piensa que uno de los ingredientes para la elaboración de las emociones conscientes (sentimientos) es la retroalimentación de todos los componentes del sistema, lo que incluye la respuesta vegetativa expresada en el propio cuerpo. Y así un impedimento en la expresión del sistema nervioso vegetativo autónomo y su proceso de retroalimentación (regreso del cuerpo al cerebro) provoca esa falta de «calor emocional» o refuerzo y produce «frialdad» emocional y de sentimientos.

#### AÑADAMOS LOS GENES A LA MENTE

Junto a la nueva neuropsiquiatría cognitiva, las neurociencias se afanan en desenterrar los componentes genéticos que pueden contribuir al desarrollo de enfermedades mentales, tanto la maniaco-depresiva como la esquizofrenia. Estos comienzos nos pueden llevar a vislumbrar el nacimiento de un componente más en esa nueva psiquiatría basada no en el análisis exclusivo de los síntomas o incluso en sus fundamentos

cerebrales, sino en la participación de genes específicos (con alguna alteración de regulación u otras) o también en sus productos, las proteínas, y su participación en la construcción y funcionamiento anormal de sistemas neurales específicos.

Hoy todavía no se ha encontrado ningún gen específico para la esquizofrenia, aun cuando con esta enfermedad han sido asociados tres *locus*: uno en el brazo largo del cromosoma 22; otro en el brazo corto del cromosoma 8, y, finalmente, otro en el brazo corto del cromosoma 6. En los tres casos, estos *locus* han sido ya localizados en una región que puede contener entre 50 y 100 genes (Cowan *et al.*, 2000). En cualquier caso, en el momento actual ningún análisis ha llegado muy lejos en estas enfermedades que son en esencia poligénicas. La esquizofrenia es una enfermedad en la que es más difícil desvelar la compleja interacción entre herencia y medio ambiente, quizá por aquello de que los procesos mentales son la máxima expresión de ese juego interactivo entre el individuo (genes) y lo que le rodea (medio ambiente). Estudios realizados en gemelos monozigóticos han mostrado, por ejemplo, una discordancia en esquizofrenia del 60%. Así, de 100 parejas de gemelos en las que uno de ellos padece esquizofrenia, sólo en 40 casos (40%) el otro hermano ha padecido también la enfermedad. De igual modo, se ha mostrado que entre el 60 y el 70% de los descendientes de parejas en que padre y madre fueron esquizofrénicos no lo son (Kringlen y Cramer, 1989). En línea con estos datos está otro estudio realizado en Noruega sobre los hijos de gemelos univitelinos en que uno de los hermanos fue hospitalizado por psicosis esquizofrénica. El estudio mostró que no hubo ninguna diferencia significativa en cuanto a la incidencia de esquizofrenia entre los hijos del hermano psicótico y los del gemelo no psicótico (Gotterman y Betelsen, 1989).

En cuanto a la enfermedad maníaco-depresiva o enfermedad bipolar, la incidencia entre los gemelos monozigóticos se estima más alta que para la esquizofrenia, oscilando entre el 50 y el 70%. Y parece ser aún mayor entre aquellos enfermos que han cometido suicidio. Entre los gemelos dizigóticos, la concordancia oscila entre el 15 y el 30%. Un *locus* en el brazo corto del cromosoma 18 ha sido relacionado con la enfermedad (Cowan *et al.*, 2000).

#### SCRIBONIUS LARGUS O UN PEZ ELÉCTRICO EN LA CABEZA

El tratamiento electroconvulsivante de la depresión y también de la esquizofrenia ha sido y sigue siendo un tratamiento eficaz para sacar a estos enfermos de ese pozo profundo, sin luz ni sentido, y aliviarles de su mal. Ya los médicos romanos Scribonius Largus y el propio Galeno recomendaban la aplicación de un pez eléctrico, el pez torpedo, en la cabeza de algunos pacientes para curarlos de sus males. Y también Plinio el Viejo recomendaba este tratamiento para tratar los dolores del parto. Pero ciertamente el tratamiento con electroshock de los pacientes con depresión endógena no arranca de entonces, sino de los tratamientos convulsivantes que comenzaron con la nueva medicina

del siglo XVIII con diferentes sustancias, como el metrazol, altas concentraciones de nitrógeno o dióxido de carbono, o alcanfor o, más recientemente, en los años treinta, con el tratamiento de shock de Sakel produciendo convulsiones con inyecciones de insulina.

Todos estos tratamientos tienen una larga historia detrás, y aunque no hecha nunca explícita como idea o teoría científica, siempre se ha creído que un fuerte golpe emocional o una situación de estrés desmesurado puede producir una respuesta corporal que puede ser beneficiosa para la mente. Pero fue Ugo Cerletti, un psiquiatra italiano, allá por los años cincuenta del siglo pasado, quien experimentó por primera vez la terapia electroconvulsivante aplicando una descarga eléctrica directamente a la cabeza del paciente. Hasta muy recientemente, sin embargo, este tratamiento no ha tenido ningún fundamento científico más allá de los trabajos mostrando que en animales de experimentación el tratamiento electroconvulsivante produce aumentos de ciertos neurotransmisores, como la noradrenalina.

Estudios recientes han dado un cierto valor científico al tratamiento con electroshock, al mostrar que promueve el crecimiento de nuevas neuronas en un área importante del cerebro para la memoria y los procesos emocionales, el hipocampo. Y todavía más interesante es el hecho de que este aumento de la neurogénesis del hipocampo no sólo es producido por el electroshock, sino también por los tratamientos farmacológicos convencionales con antidepresivos y que tiene que ver con los neurotransmisores serotonina y noradrenalina. Efectivamente, el hipocampo es una estructura ligada desde hace algún tiempo al síndrome depresivo. En los pacientes depresivos se ha podido demostrar, utilizando resonancia magnética nuclear, que esta estructura reduce su volumen de una forma significativa. Durante la depresión, la situación de estrés que padece el paciente provoca una elevada producción de hormonas corticoideas. Estas hormonas, a su vez, ocasionan la muerte neuronal en esta estructura. Ello podría justificar los cambios de volumen encontrados en el hipocampo.

Es interesante hacer notar que desde que se inicia la aplicación de estos tratamientos, tanto farmacológicos (con antidepresivos) como electroconvulsivantes, transcurre un tiempo, típicamente entre tres y seis semanas, para que aparezcan sus efectos beneficiosos sobre la enfermedad. Pues bien, este tiempo es el empleado normalmente por estas nuevas neuronas para crecer e integrar sus prolongaciones (neuritas) en los circuitos del hipocampo ya existentes. Por ello se ha sugerido últimamente que ese tiempo (que hasta ahora difícilmente había podido ser explicado de 3-6 semanas) necesario para que un tratamiento antidepresivo sea efectivo pudiera corresponderse con el tiempo que las nuevas neuronas necesitan en su crecimiento para así reemplazar a las afectadas por la enfermedad y también a la puesta en marcha de la interacción o juego de neurotransmisores en esa y otras áreas diferentes del cerebro.

## ¿QUEDA ESPACIO EN EL CEREBRO PARA EL PSICOANÁLISIS?

En este siglo que se abre y en el que ya se ha alcanzado el punto álgido de las investigaciones sobre el genoma humano y empieza a aumentar significativamente el número de estudios y descubrimientos sobre el cerebro y la mente, muchos psicoanalistas se preguntan qué papel va a desempeñar este tratamiento en un mundo donde la mente muy claramente se considera expresión del funcionamiento del cerebro, o si se quiere, utilizando cierto rigor, en un mundo en el que se considera la mente como procesos que son el funcionamiento del propio cerebro. En otras palabras, ¿hay alguna conexión posible entre psicoanálisis «como mente» y cerebro «como biología»? ¿Sería ello posible aun cuando todavía no haya ninguna función o proceso mental que como tal y específicamente se pueda rastrear en ningún circuito distribuido del cerebro?

Muchos piensan que el psicoanálisis es cerrado en su metodología y concepción del hombre y de la mente, y es precisamente por ello que se convierte en un mecanismo para tratar ciertos trastornos de la personalidad. Hay otros, por el contrario, que piensan que a menos que el psicoanálisis afloje sus cadenas del pasado y se ancle a los nuevos conocimientos del cerebro, a su biología, creando así nuevos fundamentos y pilares, se encontraría ante el principio de su fin y posiblemente no le restara otra alternativa futura que quedar como una filosofía de la mente, merecedora ciertamente de estudio y análisis, pero desarraigada ya del camino que siguen los conocimientos del hombre y la medicina actuales.

Kandel (1999), psiquiatra y neurocientífico, en una reciente reflexión acerca de este problema, ha descubierto muchos posibles puntos de encuentro entre la biología y el psicoanálisis. Es más, piensa Kandel que al menos ocho puntos de anclaje concretos podrían unir la biología al psicoanálisis y con ello hacer contribuciones importantes desde ambas orillas del pensamiento. Y es así como va su argumentación:

1. La naturaleza de los procesos mentales inconscientes, atándolos de alguna forma a los mecanismos neurales y moleculares de la memoria implícita inconsciente, aquella que no requiere de su expresión explícita para ser evocada (véase capítulo 6).
2. La asociación de dos sucesos en la mente y las bases moleculares del aprendizaje en el cerebro.
3. Cómo una señal de ansiedad en determinados casos puede tener como sustrato neurobiológico el condicionamiento de miedo (amígdala y sistema límbico).
4. Cómo nuestros conocimientos actuales (cerebrales y moleculares) se relacionan con las experiencias tempranas en el hombre y su predisposición a padecer una enfermedad mental y cómo ello, a su vez, se relaciona con el argumento psicoanalítico de la manera en que la madre y su hijo interactúan y crean en la mente del niño la primera representación interna de una interacción personal.
5. Cómo existe una relación entre lo preconsciente y lo inconsciente psicoanalítico y la corteza prefrontal.

6. Cómo la orientación sexual como perspectiva psicoanalítica puede ser anclada en nuestros conocimientos actuales sobre la ontogenia, hormonas y experimentos sobre el cerebro, en particular el hipotálamo.
7. Cómo se relaciona la psicoterapia con los cambios estructurales del cerebro que ocurren a resultas del aprendizaje y la memoria.
8. Cómo la psicofarmacología puede ser un tratamiento conjunto al psicoanálisis y así elaborar la hipótesis de un cambio físico del cerebro y dotar esos cambios de «sentido humano».

Desde este último estudio de Kandel las puertas de la neurociencia para un encuentro con el psicoanálisis han sido abiertas.

#### ENFERMEDAD MENTAL Y CEREBRO CREATIVO

En el capítulo anterior ya hemos enmarcado ciertas ideas básicas acerca de la creatividad. Aquí sólo referiré aquellas otras que relacionan creatividad y enfermedad mental. Y es que, efectivamente, mucho se ha escrito sobre la relación entre la enfermedad mental y la creatividad intelectual. Y ciertamente hay un registro importante de creadores en el campo del arte, la pintura y la música que han padecido y sufrido enfermedades de las así llamadas mentales, a lo largo de sus vidas, particularmente aquellas relacionadas con el mundo de la emoción (como son la depresión y la manía y más concretamente la enfermedad maniaco-depresiva). Efectivamente, parece haber una cierta prevalencia de la depresión y la enfermedad maniaco-depresiva entre familias cuyos miembros han sido artistas, pintores y músicos, y ello ha llevado a la especulación de si los mismos genes que predisponen a estas enfermedades pudieran también conferir una cierta predisposición para la creatividad artística. Casos como los de Lord Byron, con un récord personal y familiar de enfermedad maniaco-depresiva y suicidio; Robert Schumann, con un claro diagnóstico de la misma enfermedad; Edgar Allan Poe, o Gaetano Donizetti. En todos ellos los períodos de máxima productividad coincidieron con sus períodos premaniacos o maniacos, que fueron seguidos de escasa o nula productividad entre dichos períodos o en los que dominaba la fase depresiva. La pregunta es siempre la misma: ¿en qué medida el ingrediente psicótico hizo al gran hombre? O expresado de esta otra manera, ¿hubiera existido el gran hombre de no haber existido este ingrediente psicótico en el funcionamiento de su cerebro? ¿O simplemente el componente «patológico» elevó a cotas impensables la creatividad y el talento que ya preexistían como formando parte de una personalidad dotada para ello? Esto último pensaba Jaspers (1961), para quien:

La personalidad o las facultades creadoras del individuo existen ya en él antes de la enfermedad, aunque mucho más atenuadas que al devenir de ésta. En este tipo

de enfermos, la dolencia es, desde un punto de vista causal, la condición previa sin la cual no se les revelarían las profundidades que su intuición alcanza.

A mi amigo A. S., según él me contó, nunca le había gustado especialmente la poesía ni la había escrito. Con el brote esquizofrénico su pasión por la escritura en verso llegó a niveles desbordantes. Escribió miles de poesías. Tantas que, según me contaron, llevaba los bolsillos repletos de papeles con poesías garabateadas en ellos y pasaba largas horas subido a uno de los bancos del patio del hospital recitando sus poemas sin que al parecer además nadie le escuchara. ¿Qué abrió aquel delirio en el cerebro de A. S.? ¿Qué le llevó a escribir versos como éstos?

Dicen que el corazón  
Dicen que es la verdad  
Dando dicen que le queda  
Dice que le tienen que dar  
Vente conmigo gitana  
Y no te quedes detrás  
Andando vamos delante  
Otros ya vienen al par  
Mañana vendrá mi novia  
Yo la tendré que buscar  
Si llega un poco más tarde  
Tendrá que esperar  
Y que la novia le ha dicho  
Que le venga a buscar  
Y que el novio la espera  
Dicen con otro puñal  
En jugarse a cara o cruz  
Con puñal muy valiente  
Y sin que traición lo fuera  
Le arrebató de su muerte

Decía Raine Maria Rilke, que bien conocía los grises de la tristeza tras una infancia solitaria y llena de conflictos emocionales, «cuántos síntomas mórbidos deberían ser conservados ya que son generadores de un ritmo mediante el cual la naturaleza intenta armonizar y recuperar lo que estuvo enloquecido por la enfermedad».

#### GENIO Y LOCURA. DE VAN GOGH A NIETZSCHE

En el año 1888 dos grandes hombres que han influido poderosamente en el arte y el

pensamiento del mundo occidental, Vincent Willem Van Gogh y Friedrich Nietzsche, sufren un proceso psicótico. Van Gogh murió el 29 de julio de 1890. Nietzsche muere el 25 de agosto de 1900.

Para Jaspers, gran estudioso de la patobiografía de estos dos grandes hombres, Van Gogh no sufrió la psicosis epiléptica que los médicos de la época le atribuyeron, dado que en su estudio no encuentra ni crisis epileptiformes ni la imbecilidad que acontece en esta enfermedad. Tampoco cree Jaspers que se trate de una parálisis general progresiva dado que:

El hecho de que el enfermo fuese capaz de conservar nada menos que dos años el sentido crítico y la autodisciplina en medio de las violentas crisis de psicosis que a lo largo de este tiempo le asaltaron resulta altamente improbable; tratándose de un caso de esquizofrenia, en cambio, el hecho sería insólito, pero posible. En mi opinión, las mayores posibilidades están, con mucho, del lado de la esquizofrenia (Jaspers, 1961).

¿Qué ocurrió en el cerebro de Van Gogh que a partir de 1888 alcanza una nueva técnica convulsa que dominó a partir de entonces toda su pintura, aquella de los rasgos de color calientes a golpes fuertes, gruesos y geométricos? ¿Qué vorágine azotó su cerebro?

¿Qué ocurrió que todo aquello nuevo parecía fluir no por el esfuerzo duro y trabajoso, alcanzado tras largos años de aprendizaje, sino fácil, natural y sin aparente esfuerzo? No en vano Van Gogh pintó en esos dos años, de 1888 a 1890, más cuadros que en toda su vida anterior. ¿Es la esquizofrenia, si éste fue el proceso en el cerebro de Van Gogh, creadora?

En 1888, Nietzsche, muy poco antes de la aparición florida de la psicosis que paralizó por completo su labor intelectual, sufre un cambio brusco en la producción de sus trabajos filosóficos y aparece, en su lugar, una falta de control e impulsos sentimentales desmesurados que van paralelos a los nuevos escritos. Ya años antes, desde 1880, se señalan cambios en esa transformación espiritual y en la modificación de su pensamiento que se atribuyen en parte a que la propia enfermedad ya ha hecho su aparición. Jaspers escribió sobre Nietzsche:

La enfermedad y la flamante forma filosófica se ponen en mutua relación, transformándose dentro de una indisoluble identidad. Nos desconcierta el hecho de que el mismo paso del desarrollo necesario de su pensar, así como lo que constituía su grandiosidad espiritual y la profundidad existencial de su ser –es decir, lo que significaba el enigma de una excepción que llegó a tener importancia universal–, debiese ser, repentinamente, o enfermedad o factor biológico desconocido [...] en efecto, al carácter insoluble del entrar en una existencia dada pertenece el hecho de que Nietzsche sólo alcanzara su peculiar

altura mediante el salto de 1880. Los factores «patológicos» no solamente no han perturbado sino quizá posibilitado lo que, de otro modo, no hubiese nacido.

Tan impresionante es el cuadro de la enfermedad mental y la obra en Nietzsche que Jaspers (1963) concluye: «sin la enfermedad apenas nos podríamos representar su vida y su obra».

¿Son, pues, parte de las grandes obras intelectuales o artísticas que la humanidad posee como patrimonio obras de unos cuantos locos? ¿Hasta dónde llegan los límites de «lo normal» como valor de la excelsitud propiamente humana y lo «patológico» o enfermo como valor añadido?

#### ENFERMEDAD MENTAL Y DIVERSIDAD HUMANA

No siempre es clara la línea divisoria entre lo enfermo y lo normal en el mundo de los trastornos psiquiátricos. De hecho, la nueva psiquiatría nos muestra lo borroso de esa línea divisoria y cómo hay «piezas normales» en la estructura cognitiva del enfermo mental y «piezas anormales» en la estructura cognitiva del ser humano «normal». Sin duda que estas observaciones en las que más y más se adentra la actual neuropsicología y neuropsiquiatría cognitiva y las nuevas técnicas de imagen están aproximando ideas que nos permiten ver cada vez más la convergencia de lo «normal» y «anormal». Precisamente, la falta de marcadores capaces de delimitar con claridad y precisión (como los hay para una diabetes o un tumor cerebral) las enfermedades mentales o psiquiátricas hace que éstas sigan teniendo un perfil borroso en su relación con procesos varios.

Y salvo los extremos (que quiere decir la clara patología como bien pudiera ser la esquizofrenia florida o la depresión endógena o la manía), el *continuum* de la personalidad humana, desde la timidez y la tristeza en una parte del espectro hasta la desinhibición, alegría y hasta cierta hipomanía en el otro lado, es un abanico tan grande que puede acomodar la conducta de casi todos los seres humanos, desde las profundidades de lo prosaico a las cimas de la genialidad. De hecho, en el momento actual admitimos que no existe «eso» de la personalidad sana, normal y perfecta, y que más que distinguir entre normal y patológico, dentro de ese amplio rango, consideramos las diferencias como formando parte de lo que hoy venimos en acuñar como la diversidad humana.

No está muy lejos aún el tiempo en el que (precisamente por todo cuanto comentamos y su enormemente borrosa definición) la psiquiatría ha sido un «saco» de gran utilidad en el que el poder político y social ha metido y ha aislado a muchos individuos inconvenientes para ese mismo orden social. En su libro *A question of madness* el científico ruso Zhores Medvedev (1974) cuenta la historia de su encarcelación, al parecer causada sólo por la oposición que éste presentó al partido y al Estado soviético, y su posterior internamiento en un hospital psiquiátrico. Diagnóstico: esquizofrenia

progresiva, paranoia y pobre adaptación al medio social en el que se vive.

## ¿CÓMO FUNCIONA EL CEREBRO ENVEJECIDO?

[...] Así pues, la vejez es honorable si ella misma se defiende, si mantiene su derecho, si no es dependiente de nadie.

CICERÓN  
*De Senectute* (44 a. C.).

Exigir la inmortalidad del hombre es querer perpetuar un error hasta el infinito.

ARTHUR SCHOPENHAUER  
*El amor, las mujeres y la muerte.*

En una ocasión, en la Biblioteca Nacional, entre las páginas de uno de los libros que manejaba, los *Himnos homéricos*, encontré un pequeño trozo de papel escrito. Decía así «[...] aquella tarde de primavera, mirando la puesta de sol a través de mi ventana y los brotes bulbosos en las ramas de los álamos prestos a romper, tomé conciencia, por primera vez, del declinar de mi vida. Me sentí felizmente viejo. Tenía 64 años». No sé quién lo escribió pero ciertamente parecía un pequeño canto feliz a la vejez y me recordó aquello que, en contrario, más de 2.000 años antes, escribió Cicerón casi al final de su vida, a los 63 años, en *De Senectute*: «[...] la vejez, que todos desean alcanzar y, una vez alcanzada, se quejan de ella. Tan grande es la inconsistencia y la perversidad de la necedad».

Y es que pocos seres vivos tienen el privilegio de envejecer para que tal acontecimiento no sea de algún modo festivo. La edad adulta, y en ella la reproducción, es el límite biológico que la naturaleza marca para la mayoría de las especies. Sólo el ser humano y muy pocos animales más, en condiciones de su hábitat natural, rompen esa regla y envejecen al amparo de sus congéneres. Actualmente se empiezan a conocer y desvelar no sólo las causas sino los mecanismos por los cuales se producen los cambios que sufre el organismo en ese proceso que llamamos envejecimiento.

El envejecimiento, en general, es un proceso difícil de definir. Diferentes especies envejecen de diferentes maneras. Y en el ser humano el envejecimiento es un proceso que cobra además una cierta individualidad. Ello se complica todavía más cuando hablamos del envejecimiento del cerebro. En este capítulo en particular, el del envejecimiento cerebral, nuestros conocimientos han sido recientemente revisados y dado lugar a nuevas perspectivas que, en alguna medida, parecen revolucionarias.

### LOS CUATRO CRITERIOS DE HAYFLICK

¿Pero de qué hablamos cuando hablamos de envejecimiento? ¿Qué es el envejecimiento? Hayflick (2000) define el envejecimiento y lo diferencia del concepto de longevidad de la siguiente forma:

El envejecimiento es un proceso estocástico, que acontece tras alcanzar la madurez reproductiva, y es el resultado de la disminución de la energía disponible para mantener una fidelidad molecular en el organismo. Este desorden molecular tiene múltiples etiologías incluyendo el daño que producen ciertas moléculas que llamamos radicales libres. La longevidad, por otra parte, no es un proceso azaroso. Está gobernado por el exceso de capacidad fisiológica alcanzado, por selección natural, en el momento de la maduración sexual, quizás para garantizar una mayor supervivencia. Por esta razón la pregunta ¿por qué envejecemos? podría ser muy bien sustituida por esta otra que parece más apropiada: ¿por qué vivimos tanto?

Añadido a ello quizás fuera importante aclarar y distinguir desde el principio que el proceso de envejecimiento no es un cúmulo de síntomas patológicos como si se tratara de una enfermedad, sino un proceso claramente diferente. Hayflick (2000) distingue cuatro criterios que debieran dejar aclarada esta cuestión de una forma casi definitiva cuando señala:

Frente a cualquier enfermedad y a diferencia de ella, los cambios producidos por la edad: 1. ocurren en cada animal que alcanza un tamaño fijo cuando adulto; 2. tiene lugar prácticamente en todas las especies; 3. ocurre en todos los miembros de una determinada especie sólo tras pasar la edad de la reproducción, y 4. ocurre en los animales sacados de la selva y bajo la protección de los seres humanos incluso cuando esa determinada especie no ha experimentado el fenómeno de envejecimiento por miles e incluso millones de años.

Todo esto nos lleva finalmente a considerar el envejecimiento como un proceso biológico-natural universal, ciertamente deletéreo, que acontece con el tiempo como expresión de la interacción entre el programa genético del individuo y su medio ambiente. Es un proceso que ocurre «en casi» todo el mundo vivo (de ahí que le llamemos universal) aun cuando haya algunas excepciones, como es el caso de la langosta americana y de muchos peces, entre los que se encuentra la trucha arco iris, algunas clases de tortugas y algunos tipos de anfibios que al parecer no envejecen o lo hacen de un modo que no es tan aparente como en el resto de los animales.

#### ¿POR QUÉ NO ENVEJECE LA TRUCHA ARCO IRIS?

Las especies animales que acabamos de mencionar y que no envejecen o lo hacen de una

manera no aparente se encuentran fundamentalmente entre los invertebrados y los peces. Ello podría llevarnos a pensar que el envejecimiento es sólo un fenómeno que, con la evolución, se ha manifestado de forma clara en los mamíferos y, en particular, en las especies animales superiores. No parece ser así. Todo ser vivo envejece. Es cuestión de demarcar bien el concepto que tenemos de envejecimiento.

Finch (1990), tras aceptar la idea de que el proceso normal de envejecimiento es universal y para todos los seres vivos, aclara que bien pudiera haber tres formas de envejecer o tres categorías en las que se pudiera encuadrar este proceso:

1. El envejecimiento rápido.
2. El envejecimiento insignificante.
3. El envejecimiento gradual.

Por un lado está el envejecimiento rápido y muerte rápida. Un buen ejemplo es el caso del salmón y la lamprea, que exhiben una rápida senescencia y una muerte súbita nada más desovar. Por otro lado se encuentra el envejecimiento insignificante o poco aparente. Este tipo de envejecimiento se da en las mencionadas langosta americana y en la trucha arco iris, que, al parecer, experimentan un crecimiento somático constante y a lo largo de toda su vida, aun cuando más lento a medida que pasa el tiempo, y además pierden la capacidad reproductiva. Efectivamente, la langosta crece continuamente, incluso cuando tras alcanzar la edad adulta desciende algo dicha tasa de crecimiento. Y son capaces, además, de regenerar miembros completos incluso a una edad bastante avanzada. Y es que los tejidos investigados de estos animales, aun ya los completamente diferenciados, retienen actividad de la telomerasa, la enzima que repara el ADN en el final de los cromosomas. Ello no es sólo característico de la langosta. Patrones similares de actividad de telomerasa se cree que existen en otras especies con unas características de crecimiento similar (como, por ejemplo, los hongos, los moluscos, ciertos peces, anfibios y reptiles).

Por su parte, la trucha arco iris tiene también muy pocos signos de envejecimiento. Al parecer, estos peces crecen constantemente a lo largo de toda su vida. La telomerasa, al igual que ocurría con la langosta, muestra actividad tanto en peces de 4 gramos (1 mes de edad), 400 gramos (30 meses de edad) y 2 kilos de peso (42 meses de edad) en todos los órganos en que se ha medido: riñón, hígado, piel, corazón y músculo. No parece ser tanto así, sin embargo, en el cerebro, donde se ha observado que con la edad hay un descenso gradual de la actividad de esta enzima que parece corresponderse con un descenso de las actividades proliferativas de estos peces.

De otros peces, por ejemplo las platijas, se dice que tienen características muy especiales. La platija macho alcanza la edad fértil cuando tiene 5 o 6 años. Nunca se han pescado ejemplares macho de más de 8 años. Sin embargo, el envejecimiento en la platija hembra parece haber desaparecido. Madura a los 6 o 7 años; a los 25 años es un 70% más grande y cinco veces más pesada. Platijas hembra de edad desconocida se han

pescado y se ha visto que su peso era hasta doce veces el peso que tienen cuando alcanzan la madurez. No parece haber evidencia de que estos peces envejezcan. Se ha venido a decir que esta especie hembra parece haber alcanzado la economía perfecta de un animal inmortal y siempre fértil. Todo esto no hace que estos animales sean realmente inmortales. La muerte acontece en todo ser vivo como efecto de muchos factores, entre los que se encuentran (aparte el envejecimiento) los depredadores, carencia de agua y alimentos, cambios climáticos importantes, infecciones, traumatismos, etc.

Finalmente se encuentra el envejecimiento gradual y una determinada longevidad, que es el caso de la mayoría de los vertebrados y desde luego de todos los mamíferos, lo que incluye al hombre.

Como hemos visto, definir y acotar el proceso de envejecimiento es difícil, debido, en buena medida, a que desconocemos propiamente este proceso, en el sentido de cuándo comienza y sus características más esenciales. Los estudios longitudinales (el estudio de un mismo individuo o serie de individuos a lo largo del tiempo) nos muestran que tomar como parámetro la edad es sólo un estimado general, pero en ningún caso una medida del proceso. Tampoco lo son los conceptos de edad biológica o edad funcional que refieren al deterioro o funcionalidad de determinados órganos o aparatos del cuerpo humano y su comparación con la edad real del individuo (Mora y Porras, 1998). Esto último quiere decir que un individuo concreto, de determinada edad, puede tener unas condiciones anatómicas o funcionales, sean por ejemplo del sistema cardiovascular (presión arterial) o sistema nervioso central (ciertas funciones cognitivas), que no se corresponden con la media de esas mismas funciones encontradas en un grupo de individuos de esa misma edad. Pueden ser mejores condiciones (como las de individuos más jóvenes) o peores (como las de los individuos más viejos). Esto último ha llevado a los conceptos de envejecer con o sin éxito (Rowe y Kahn, 1987); es decir, a envejecer sin enfermedades y sin deterioros aparentes o envejecer de modo prematuro con un declinar aparatoso de funciones en varios aparatos o sistemas del organismo, lo que incluye, sobremanera, las funciones cerebrales.

Los estudios comparativos de edad y funcionamiento de los distintos aparatos y sistemas del organismo muestran que cuando se controlan la ingesta de alimentos, el ejercicio físico e intelectual, grado en los hábitos sedentarios y hábitos llamados sociales (tabaco, alcohol, patrones de comportamiento impuestos por el medio familiar y social), el proceso de envejecimiento de los individuos cambia de una manera significativa (Mora, 1999; Rowe y Kahn, 1987; Richards, 1988). Esto último nos lleva a una conclusión importante. Y ésta es que el proceso de envejecimiento que vemos como habitual en nuestro entorno social no es el proceso de envejecimiento per se, sino el producto final de la combinación de factores heredados (carga genética del individuo) y factores exógenos (ambientales). De entre estos últimos posiblemente los hábitos sedentarios, es decir, aquellos hábitos que llevan al individuo a no practicar ejercicio

físico alguno, son los que más destacan.

#### EL ENVEJECIMIENTO ¿SE DEBE A LOS GENES?

Hay muchos estudios que demuestran que los gemelos univitelinos (con carga genética idéntica, clónicos) frecuentemente no envejecen por igual y tienen además una duración de vida diferente. Esto nos lleva claramente a reconocer que el proceso de envejecimiento es altamente un proceso único e individual no gobernado estrechamente por los genes y sí fuertemente influenciado por factores ambientales y el propio desarrollo del individuo (tanto en etapas iniciales como en su desarrollo posterior). Ciento que los genes desempeñan un papel y que de padres longevos se tienen hijos que son, en promedio, también longevos (habiendo las muchas excepciones que nos da la historia, como la de Jeanne Louise Calment, citada en este capítulo, que siendo, al parecer, el ser humano más longevo, ni su hija ni su nieta lograron sobrepasar los 40 años).

En un estudio de gemelos daneses nacidos entre 1870 y 1880 y publicado en 1993 se demostró que los gemelos univitelinos tienen longevidades más parecidas que las de los gemelos no idénticos o hermanos. Ello invita a pensar, como hemos señalado ya antes, que hay un cierto componente genético, aun cuando, en general, los estudios sobre gemelos no permiten hacer una estimación acerca de qué proporcionalidad se debe a los genes en esta longevidad. Según Kirkwood (2000), la carga genética influye en aproximadamente un 25%. Esto último nos invita de nuevo a valorar el papel del medio ambiente y los hábitos de vida. Y no sólo en el individuo humano hay una gran variabilidad en lo que se refiere a la longevidad, sino incluso en animales invertebrados, como es el caso del gusano *C. Elegans*, donde se ha podido ver que estudiando dos gusanos idénticos (de los que se conocen el genoma, desarrollo y su número total de células que salvo mutaciones es exactamente de 959) criados aparentemente en ambientes muy similares han sufrido variaciones durante el proceso de envejecimiento que pueden ser muy grandes, pudiendo oscilar su supervivencia individual de modo considerable: entre 10 días y el máximo aproximado de la vida de estos gusanos, que está alrededor de los 30 días.

#### A CEREBRO MÁS GRANDE, MAYOR LONGEVIDAD

Dentro de los mamíferos, posiblemente el hombre es el que más longevidad tiene, con una edad máxima estimada de alrededor de los 125 años (el máximo registro constatable es el de Jeanne Louise Calment, antes citada, nacida el 21 de febrero de 1875 en Arles, Francia, y fallecida el 4 de agosto de 1997 y que vivió, por tanto, 122 años), comparada con el elefante indio, con 81 años, o nuestro más próximo pariente (el chimpancé), cuya

edad máxima está alrededor de los 45 años. De hecho, se ha sugerido que a lo largo de la evolución de los mamíferos los animales poseedores de un cerebro más grande (relativo al peso de su cuerpo) han sido más longevos. Señala Dani (1997):

El aumento del tamaño del cerebro entre los primates es un ejemplo dramático de la relación entre tamaño del cerebro, tamaño del cuerpo y longevidad. La máxima extensión de la vida para los primates en cautividad indica que esta extensión máxima se ha ido prolongando casi unas 20 veces desde el Tupaia, considerado por algunos como el primate más primitivo, hasta el más sofisticado, el *Homo*. En la línea del hombre, también, en 3,5 millones de años de evolución el tamaño del cerebro se ha multiplicado por un factor de tres, al igual que la máxima duración de la vida, que ha aumentado de un modo similar al multiplicarse por dos o tres en el mismo periodo.

A la luz de estas evidencias uno se pregunta: ¿qué relación puede haber entre cerebros grandes y la expansión de la duración de la vida? Dos de las principales hipótesis o argumentos que se han esgrimido han sido, por un lado, la cantidad o el diferente número de tipos neuronales que, agrupados y distribuidos de forma heterogénea, tiene el cerebro. Y, por otro, las bases metabólicas del funcionamiento cerebral en relación con el resto del cuerpo.

La primera hipótesis sugiere que el cerebro tiene una gran variedad de tipos neuronales y que como tales están agrupados en diferentes áreas del mismo. Cada una de estas neuronas, en cada área, tendría un umbral diferente para la degeneración con el tiempo y, por tanto, una vida media diferente, y ello obviamente tiene que ver con los efectos del envejecimiento y la longevidad. En otras palabras, a lo largo de la escala evolutiva, y con el aumento del peso y complejidad del cerebro, éste ha ido adquiriendo neuronas con diferentes características según la interacción que este cerebro haya tenido con determinado medio ambiente y así ha desarrollado un valor de supervivencia diferente. Esto daría una gran versatilidad a un cerebro grande en cuanto a la longevidad, ya que un grupo neuronal con umbrales degenerativos muy altos, junto a un grupo neuronal de umbral degenerativo medio y otros más bajos, conllevaría un proceso de deterioro cerebral gradual, lento en el tiempo y con el mantenimiento de una larga supervivencia total del individuo. Y es que hay claramente grupos neuronales (como son los del tronco del encéfalo) que sintetizan neurotransmisores como las monoaminas, que son quizás los más sensibles a la neurodegeneración durante el envejecimiento. Frente a ello, otros grupos neuronales (del mismo tronco del encéfalo) que tienen que ver con funciones como el control del movimiento de los ojos o el control respiratorio y cardiovascular son mucho más resistentes. Incluso las neuronas de la corteza cerebral, como luego veremos, no mueren de una forma generalizada durante ese proceso de envejecimiento. Por tanto, esta hipótesis contempla una posible estrategia que pudiera justificar la mayor longevidad de los individuos con cerebros más grandes.

Una hipótesis alternativa, que no está en contradicción con la anterior, es la del cerebro como sumidero nutricional. Esta teoría propone que el consumo calórico del cerebro con respecto al resto del cuerpo es muy superior, y ello da lugar a que el cerebro se nutra a base de desnutrir al resto del cuerpo. Efectivamente las células del cerebro no sólo son las células más grandes del organismo, sino las metabólicamente más activas, y su nutrición se basa, fuertemente, en el aporte directo de glucosa desde la sangre, dado que las neuronas no almacenan la glucosa ni el cerebro posee la maquinaria capaz, como el hígado, de convertir en glucosa otro tipo de nutrientes como las proteínas. Estas exigencias nutricionales del cerebro han sugerido la posibilidad de que sea este aumento de su tamaño, relativo al peso del cuerpo, el que ha llevado a una cierta disminución de los recursos nutricionales disponibles para el resto del organismo haciéndolo, de alguna manera, «pasar hambre» y enlenteciendo y retrasando así su crecimiento y haciéndolo en consecuencia más longevo.

Este proceso del aumento del cerebro no sólo ha ocurrido a lo largo del proceso evolutivo en los dos o tres últimos millones de años, sino también en el proceso mismo de la ontogenia, es decir, en ese proceso lento de crecimiento del cerebro desde el nacimiento, con sus aproximadamente 350 gramos hasta los 1.400 gramos que se alcanzan en el periodo adulto y de madurez. Es interesante ante todas estas hipótesis resaltar que una de las manipulaciones más efectivas en su efecto rejuvenecedor y prolongador de la vida en mamíferos es precisamente la restricción calórica. Y también queda esta otra interrogante final: ¿pudiera ser que el aumento del peso corporal de los seres humanos a partir de cierta edad, pasada ya la edad reproductiva, se debiera a una reducción de las demandas metabólicas del cerebro, es decir, a una menor actividad neuronal?

#### LA VEJEZ DE NUESTROS PREDECESORES HACE 2-3 MILLONES DE AÑOS

El comienzo de esa prolongación tan grande de la vida del hombre tuvo lugar en África con los australopitecos, hace 2-3 millones de años. Se ha estimado que la máxima expectativa de vida de los australopitecinos estuvo alrededor de los 45 años (precisamente como la máxima expectativa de vida del chimpancé actual, con un peso de cerebro muy similar) (Cutler, 1975). Y, sin embargo, tras el estudio de 184 especímenes de cráneos de australopitícos y 22 especímenes de *Homo habilis* se llegó a la conclusión de que la mayoría de ellos murieron alrededor de los 20 años, lo que claramente habla de las duras condiciones de vida en esos albores de la humanidad. Lo más interesante es que, al parecer, la longevidad en los homínidos no ha seguido una línea ascendente acorde a la línea ascendente de la encefalización, desde el australopiteco (400-460 gramos de cerebro), *Homo habilis* (700-750 gramos), *Homo erectus* (900 gramos), y su progresión con el *Homo sapiens* hasta llegar a los actuales 1.400 gramos, sino que en ese proceso y durante un periodo que estuvo

fundamentalmente alrededor de la aparición y desarrollo del *Homo habilis*, hubo una inflexión o caída de la longevidad. Señala Tobias (1997):

[...] la máxima expectativa de vida se ha doblado desde los más tempranos homínidos hasta el hombre moderno *Homo sapiens*, pero la curva de los cambios no ha sido una curva suave, progresiva e ininterrumpida. Parece haber habido una clara caída en longevidad con la aparición del *Homo habilis* que se mantuvo hasta el *Homo erectus*. Los determinantes críticos de esta caída son de dos categorías: por un lado, el dramático y sorprendente aumento del tamaño del cerebro con sus demandas metabólicas potenciadas o multiplicadas y, segundo, lo inoportuno de este pico de aumento del cerebro en un momento en que el clima de África mostró, hace 2,5 millones de años, un deterioro muy marcado. Sólo tras la etapa del *Homo erectus*, cuando la encefalización ha alcanzado al 70-80% de los humanos modernos, aumenta la longevidad humana. En la última etapa de la evolución de los homínidos aumentos en el tamaño del cerebro y longevidad parecen ir de la mano hasta alcanzar el pináculo en los últimos 100.000 años.

#### ALGO MÁS SOBRE NUESTRO PROPIO ENVEJECIMIENTO

Basándose en las inscripciones epigráficas del *Corpus inscriptionum latinarum*, publicado por la Academia de Berlín en el siglo XIX, se hizo un estudio por el que sabemos que en la antigua Roma de 4.575 hombres sólo seguían vivos a los 60 años un 7,5% (344); a los 70 años, el 4,3% (200); a los 80, el 2,4% (111); a los 90, el 0,9% (42), y a los 100, el 0,08%. Desde entonces ha ido aumentando la proporción de población que ha alcanzado edades avanzadas (60 años): desde algo más del 20% a principios del siglo XIX (atribuible a mejoras en las condiciones de habitabilidad, sanidad y antisepsia), pasando al 32% en los inicios del siglo XX (salud pública, higiene y vacunas), el 60% alrededor de 1935 (antibióticos, mejora general de la práctica de la medicina, nutrición y educación sanitaria), hasta llegar a más del 80% de la población en los años 1970-1980 (recientes avances médicos). En la antigua Roma se ha estimado una vida media de unos 40 años, apenas superada en la Alta Edad Media, en que era de 44 años para los hombres y 33,7 para las mujeres y se ha mantenido alrededor de estas cifras hasta fechas muy recientes.

En la actualidad, la esperanza de vida al nacer es enormemente variable dependiendo de donde uno nace. Desde una esperanza de vida media de los 75 años para el hombre y 81 para la mujer en los países más desarrollados hasta los 37,5 para el hombre y 40,6 para la mujer en Sierra Leona. De hecho, estudios prospectivos realizados por el USA Census Bureau Middle Series (citado por Hayflick, 2000) indican que para el año 2050 la esperanza de vida de la población en el mundo occidental y para ambos sexos se encontrará alrededor de los 82 años. Asimismo se predice que la esperanza de vida para

los nacidos en el año 2050 en Japón (según otro estudio realizado por el G-7, países industrializados) (Tuijapurkar *et al.*, 2000) será de 90,9 años, y en Estados Unidos, de 82,9 años. En cualquier caso, el aumento de la esperanza de vida en los países occidentales es un fenómeno constante en el tiempo que empuja a revisar las predicciones de las Naciones Unidas cada poco tiempo (Kirkwood, 2008) (véase figura 16).

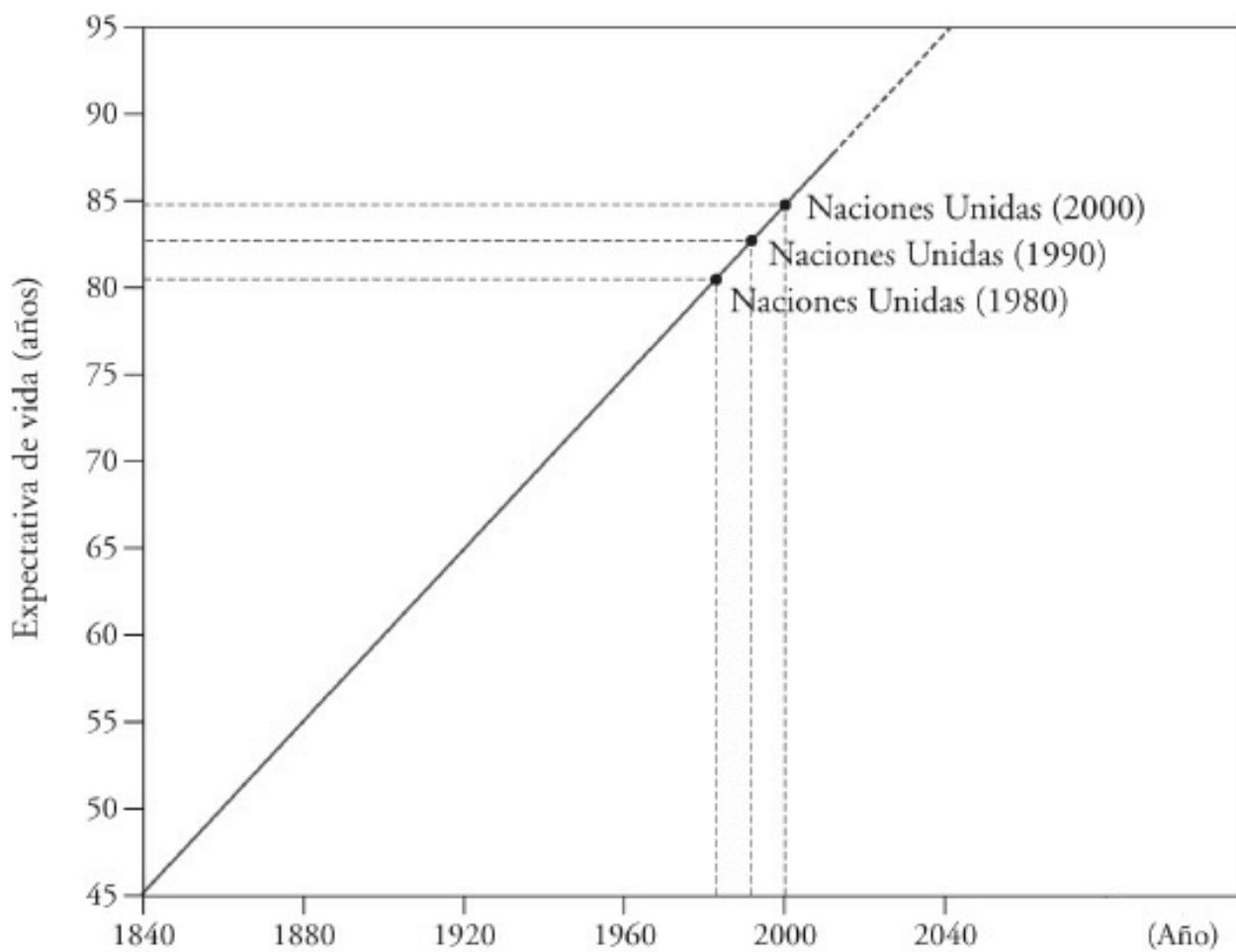


FIGURA 16. Aumento de la esperanza de vida en los países occidentales a lo largo de 200 años (1840-2040) (modificado de Kirkwood, 2008).

Todo ello nos indica que estamos asistiendo a un fenómeno nuevo que impondrá cambios importantes a la estructura social de cualquier país occidental y, desde luego, en las relaciones de los individuos, ya que estos cambios traspasarán todas las fronteras de raza, sexo y nacionalidad. Sin duda que el envejecimiento afecta a todo el organismo. Pero es el cerebro y su envejecimiento, por razones obvias, el que importa sobremanera a la hora de enfrentarnos a esta nueva gerontocracia. Y ello claramente lo es porque es en el cerebro en el que el ser humano asienta todo lo que de humano y social tiene.

## NUEVAS PERSPECTIVAS

¿Qué efectos tiene el proceso de envejecimiento per se sobre el cerebro humano? Simplemente no lo sabemos. No sabemos qué factores o determinantes ambientales cincelan el cerebro durante ese periodo de la vida. De hecho, el capítulo del envejecimiento humano, junto con el de la adolescencia, son los grandes enigmas de la neurociencia. Una cosa parece clara: el proceso de envejecimiento, como el del mismo desarrollo, depende muy estrechamente del medio ambiente en el que vive el individuo. Un aborigen en la selva o en la sabana envejece de forma mucho más acelerada y de modo claramente diferente a otro individuo en el entorno de una ciudad de nuestro mundo occidental o, incluso, que aquel mismo aborigen viviendo en nuestras ciudades (Mora, 2001).

Estudios recientes ya han empezado a darnos una nueva perspectiva de ese proceso que es el envejecimiento del cerebro. De hecho, el que ya se conozca como claramente establecido que las neuronas no mueren de un modo generalizado en la corteza cerebral (aun cuando sí en algunas otras áreas del cerebro) y que, junto a ello, hay generación de neuronas nuevas en el cerebro adulto y envejecido ya nos indica una perspectiva que puede empezar a considerarse revolucionaria en nuestra visión hacia el futuro de este proceso. Además, empieza a conocerse una nueva perspectiva acerca del funcionamiento de circuitos específicos del cerebro en el animal viejo a través del estudio de la interacción de diferentes neurotransmisores.

### ¿ENVEJECE TODO EL CEREBRO AL MISMO TIEMPO?

Parece que durante el proceso de envejecimiento normal las neuronas de la corteza cerebral no mueren de un modo generalizado aun cuando sí sufren una hipotrofia y pérdida de ramificaciones en su árbol dendrítico. Frente a ello, sin embargo, otras neuronas (localizadas en el tronco del encéfalo) mueren a lo largo de este proceso. Los sistemas neuronales más afectados son aquellos que sintetizan los neurotransmisores acetilcolina, noradrenalina y dopamina. En particular, los estudios hasta ahora realizados sobre los sistemas dopaminérgicos (tanto en humanos como en animales de experimentación) sugieren que las vías neurales que liberan dopamina en áreas estratégicas del cerebro, como aquellas que tienen que ver con el movimiento (ganglios basales), con la planificación de futuros actos de conducta (corteza prefrontal), con la interfase intención-acción (corteza cingulada), con la emoción (núcleo acumbens) y también con el control de la secreción de hormonas (hipotálamo), sufren una degeneración lenta y progresiva con el envejecimiento.

Con todo, sin embargo, los estudios más recientes ponen de manifiesto que, a pesar de que hay un descenso en el número de neuronas de estos y otros sistemas dopaminérgicos, a medida que se instaura el proceso de muerte neuronal emergen

sistemas compensatorios. Así, se ponen en marcha mecanismos que consisten en aumentar la velocidad a la que se recambia y libera el neurotransmisor por las mismas neuronas que aún permanecen intactas al proceso degenerativo. Esto hace que durante mucho tiempo no aparezcan déficits funcionales groseros en estos sistemas y que la función persista compensada mucho tiempo. Es a partir de cierta edad, al agotarse esta «reserva funcional», cuando empiezan a establecerse claramente los déficits bioquímicos, morfológicos y funcionales, cuya expresión en la conducta son el deterioro de la capacidad intelectiva, motivación, emoción, incapacidades motoras y sensoriales, alteración de los patrones normales de sueño, hambre-sed, sexualidad, etc. (Mora y Porras, 1998; Mora, 1999).

#### ARRUMBANDO DOGMAS

Desde los estudios iniciales de Brody en 1955, se acuñó la idea, bastante generalizada, de que durante el proceso de envejecimiento normal las diferentes áreas de la corteza cerebral (lo que incluye la corteza prefrontal y temporal) tienen una pérdida importante de neuronas. Tales pérdidas neuronales llegaron a estimarse hasta en un 40% para las edades más avanzadas (Brody, 1955; Brody y Vijayashankar, 1977). En 1986, una extensa revisión de estos y otros estudios ya puso en seria duda que hubiera una pérdida de neuronas piramidales de la corteza cerebral (corteza prefrontal) como consecuencia del envejecimiento sano normal (Braak y Braak, 1986). Otros estudios posteriores concluyeron que durante este proceso hay una hipotrofia neuronal con una pérdida del árbol dendrítico en algunas (pero no en todas) áreas corticales. También se concluyó que había cierta pérdida de neuronas en el hipocampo, que como hemos visto es crucial para las memorias. Pero precisamente aquí, sin embargo, ya se puso de relieve un mecanismo de vital importancia que ocurre durante el envejecimiento del cerebro y es que algunas neuronas desarrollan y aumentan su árbol dendrítico, quizá como mecanismo de compensación ante neuronas que mueren o reducen su función y tamaño (Coleman y Flood, 1987).

Recientemente, la utilización de nuevas metodologías y técnicas histológicas ha permitido obtener un estimado más real del número total de neuronas que tiene un área del cerebro y, con ello, evaluar su posible pérdida durante el proceso de envejecimiento (West, 1993). Estos estudios han mostrado que áreas como el hipocampo no sufren un descenso significativo del número de neuronas con la edad. Es más, no hay diferencia en cuanto al número de neuronas entre animales jóvenes y animales viejos con o sin déficits marcados en el proceso de aprendizaje. Estos estudios concluyen indicando que la degeneración neuronal no es un elemento básico e importante en el proceso de envejecimiento del hipocampo. Posteriormente, otros estudios han confirmado estos resultados en el ser humano envejecido.

De modo similar al hipocampo, diversas áreas de la corteza cerebral no parecen sufrir

pérdidas neuronales significativas con edades avanzadas. Así, la corteza entorrinal (que provee de información sobre aprendizaje y memoria al mismo hipocampo) tampoco sufre pérdida neuronal en las edades comprendidas entre 60 y 90 años, tampoco la corteza temporal superior (área cerebral relevante en la elaboración de diferentes funciones cognitivas) en personas con un envejecimiento normal en edades comprendidas entre los 57 y 98 años. Finalmente, tampoco parece haber pérdida neuronal en la corteza prefrontal humana con la edad, área de enorme relevancia como hemos visto en capítulos anteriores y que forma parte de importantes circuitos con funciones cognitivas mentales específicas (como los sistemas cognitivos de planificación, memoria de trabajo, etc.) (Wickelgren, 1996; Morrison, 1997).

Frente a todo ello, estudios de imagen cerebral han mostrado que hay una pérdida de volumen en la sustancia blanca de los hemisferios cerebrales durante el envejecimiento. Efectivamente, de modo reciente se ha señalado que una característica del envejecimiento en los hemisferios cerebrales en primates es la degeneración de la mielina (Kemper, 1994). La mielina es el aislamiento que tienen las fibras nerviosas (como el tubo de goma que aísla los cables eléctricos) y que permite que la información (la corriente eléctrica que transporta la fibra) no se vea interferida o alterada por otras corrientes de otras tantas fibras nerviosas que van paralelas y pegadas a ella. Pues bien, diversos estudios demuestran que hay una correlación entre la degeneración de las vainas de mielina y las alteraciones encontradas en los oligodendrocitos (las células nerviosas responsables de formar la mielina en el sistema nervioso central) durante el envejecimiento (Peters, 1996). Igualmente se ha podido comprobar que en cerebros humanos envejecidos existe una «palidez» en el marcaje de mielina en la corteza cerebral con especial defecto en las fibras de conexión cortico-corticales. Precisamente se ha mostrado en primates viejos una correlación entre el descenso de sustancia blanca en los hemisferios cerebrales y los déficits en la realización de ciertos tests de aprendizaje y memoria (Peters, 1996). Es más, se ha sugerido que durante el envejecimiento hay un cambio en la propia composición molecular de la mielina (Malone y Szoke, 1982). Todo esto es indicativo de un proceso en el que la «nitidez» de la comunicación neuronal, y por ende la función de circuitos corticales específicos, sufren un deterioro con la edad.

#### EL CEREBRO VIEJO PRODUCE NEURONAS NUEVAS

Efectivamente, nuevas neuronas se producen cada día en el cerebro del animal adulto y viejo, fundamentalmente en el hipocampo, pero también en diferentes áreas de la corteza cerebral, como son la corteza prefrontal, la corteza inferotemporal y la corteza parietal posterior. Estos últimos hallazgos, sin embargo, han sido recientemente contestados.

Los datos más consistentes se han obtenido en el hipocampo (Eriksson *et al.*, 1998). En el giro dentado del hipocampo del cerebro adulto aparecen nuevas células granulosas

de modo constante (en un número que se estima entre 20.000 y 30.000 neuronas diarias) a partir de una población de células precursoras que están continuamente dividiéndose en la zona subgranular de este giro dentado. Tras ello, las nuevas neuronas inmaduras emigran a la capa de neuronas granulares, donde sufren una posterior diferenciación y extensión de sus ramas axonales. Tal producción neuronal nueva está, además, relacionada con el aprendizaje y la riqueza del medio ambiente que rodea al individuo, así como, de modo importante, con la realización de ejercicio físico aerobio (Gould *et al.*, 1999; Praag *et al.*, 1999).

Recientes trabajos han sugerido que la generación de nuevas neuronas, así como el desarrollo de su árbol dendrítico, una vez que han emigrado y se han situado en la capa de neuronas que le corresponde, tiene la misión de mantener la función de esta área del cerebro. Sin embargo, hasta hace unos meses no se ha podido demostrar que este tipo de neurogénesis participe de forma esencial en la formación de ciertas memorias. Hoy ya sabemos que la reducción en la producción de estas neuronas nuevas impide al animal un determinado tipo de aprendizaje por el que tiene que asociar dos tipos de estímulos separados en el tiempo (Hasting y Gould 1999; Shors *et al.*, 2001).

Todos los estudios indicados han puesto de relieve que la producción de neuronas nuevas ocurre a lo largo de toda la vida del individuo. Sin embargo, durante el periodo de envejecimiento, este fenómeno se reduce de una manera considerable. Un reciente trabajo ha mostrado que esta reducción del crecimiento de nuevas neuronas durante el envejecimiento está estrechamente relacionado con el aumento de los niveles de corticosteroides que ocurre con la edad (Cameron y McKay, 1999), y que, por el contrario, la reducción de estas hormonas en ratas viejas incrementa la producción de neuronas nuevas a los niveles del adulto joven. Ello indica que la población de células nerviosas precursoras permanece estable durante el envejecimiento. Es evidente que estos recientes hallazgos son prometedores y potencialmente útiles para instaurar futuros tratamientos del cerebro envejecido.

En resumen, en relación con el envejecimiento (y aparte los nuevos descubrimientos acerca del crecimiento de neuronas nuevas cuya consecuencia para dicho proceso están todavía por evaluar), los datos que hemos señalado apuntan no tanto a una pérdida o muerte neuronal como antes se pensaba, sino a un progresivo deterioro en la comunicación entre neuronas, al producirse cambios en su aislamiento (de mielina). Junto a ello se produce una pérdida del árbol dendrítico y las sinapsis y consecuentemente un deterioro de circuitos en áreas concretas del cerebro que codifican para funciones específicas.

## BUSCANDO SOLUCIONES

A la luz de los conocimientos actuales acerca de cómo tratar el cerebro y la mente durante el proceso de envejecimiento, las palabras de Cicerón me parecen de lo más

sabio que nunca se haya escrito. Decía Cicerón en *De Senectute (Sobre la vejez)*:

Es preciso llevar un control de la salud, hay que practicar ejercicios moderados, hay que tomar la cantidad de comida y bebida conveniente para reponer las fuerzas, no para ahogarlas. Y no sólo hay que ayudar al cuerpo, sino mucho más a la mente y al espíritu. Pues también éstos se extinguen con la vejez, a menos que les vayas echando aceite como a una lamparilla. Ciertamente los cuerpos se entumecen con la fatiga de los ejercicios, en cambio los espíritus se reaniman ejercitándolos. [...] Así pues, el ejercicio y la templanza pueden conservar, incluso en la vejez, algo del primitivo vigor.

Y es que efectivamente el ejercicio moderado y el control de la ingesta de alimentos pueden representar los dos tratamientos fundamentales en los que se han visto y se están viendo, cada vez más, sus efectos beneficiosos para aliviar y enlentecer el proceso de envejecimiento.

Hoy no parece existir ningún «elixir» o «filtro mágico» capaz de cambiar y menos prolongar la vida del ser humano de una manera clara y definitiva.

No hay cambios en los estilos o hábitos de vida, procedimientos quirúrgicos, vitaminas, antioxidantes, hormonas o técnicas de ingeniería genética hoy disponibles que tengan capacidad siquiera de reproducir la esperanza de vida alcanzada durante el siglo xx (Olshansky *et al.*, 2001).

Yo subscribiría, casi totalmente, lo dicho por estos autores. Sin embargo, los dos factores antes mencionados que son la restricción calórica y el ejercicio físico aeróbico moderado parecen influir de forma importante en una mejora del proceso de envejecimiento, tanto en la salud como en la misma esperanza de vida.

La restricción calórica, es decir, la reducción del consumo total de alimentos pero en dieta equilibrada de grasas, proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales, es el tratamiento más claro y reproducible que existe para conseguir enlentecer el proceso de envejecimiento y extender además la esperanza de vida en animales, tanto invertebrados como vertebrados y mamíferos. Desde que estos experimentos comenzaron hace más de sesenta años se han podido comprobar reiteradamente sus beneficios. La restricción calórica para ser efectiva, al menos en roedores, debe ser de alrededor del 40%, lo que ciertamente es una restricción considerable (Weindruch y Walford, 1998).

Existen muchas teorías y datos experimentales que abogan por el efecto antienvejecimiento de la restricción calórica, entre ellas la que propone que su efecto se debe a que disminuye el estrés oxidativo. Datos a favor de dicha hipótesis muestran que animales sometidos a restricción calórica tienen un descenso en la generación de radicales libres por la mitocondria y también que en estos animales hay un descenso del daño que estos radicales libres producen sobre las proteínas, lípidos y ADN (Sohal y Weindruch, 1996; Lee *et al.*, 2000). En ratones se ha podido comprobar que la

restricción calórica también previene la expresión de muchos genes y factores de transcripción que acontecen con el envejecimiento y que dan lugar a fenómenos inflamatorios, la síntesis de proteínas que promueven la actividad de la microglía, migración de macrófagos, interleuquinas, proteínas *heat-shock* e interferones. También la restricción calórica aumenta, contrariamente a cuanto pudiera parecer, la capacidad de los animales viejos para soportar altas o bajas temperaturas, reduciendo así el daño tisular en estas circunstancias (Lee *et al.*, 2000).

Pero quizá lo más importante de este capítulo está detrás de la siguiente pregunta: ¿es esta manipulación efectiva en los seres humanos? Algunas señales indirectas parecen indicar que sí. Por ejemplo, los habitantes de la isla de Okinawa consumen al parecer muchas menos calorías (alrededor del 30%) que el resto de la población japonesa. En realidad, no sólo se trata de una reducción del total del número de calorías, sino también de una dieta diferente. Estos habitantes de Okinawa consumen casi tres veces más vegetales pero menos carbohidratos y cereales que el resto de sus compatriotas. Curiosamente, es la isla con más centenarios de todo Japón. Es más, los habitantes de dicha isla tienen una menor tasa de mortalidad por cáncer y enfermedades vasculares, así como una menor tasa total de mortalidad de la población comparada con el resto de los habitantes de las otras islas de Japón. Sin embargo, son más bajos y delgados que sus congéneres de otras islas (Kagawa, 1978). Otras observaciones con similares resultados hechas en seres humanos han sido realizadas durante el proyecto Biosphere 2 que tuvo lugar en el desierto de Tucson, en Arizona, Estados Unidos (Walford *et al.*, 1992).

Todas las observaciones arriba mencionadas carecen de un protocolo científico que permita, con rigor, sacar conclusiones definitivas acerca del efecto de la restricción calórica sobre el envejecimiento en el ser humano. Sin embargo, estudios recientes en primates han permitido sacar algunas conclusiones preliminares que cautelosamente bien pudieran extrapolarse al propio hombre (Roth *et al.*, 1999). Estos datos se han obtenido del proyecto iniciado en 1987 con monos rhesus y ardillas en los laboratorios de los Institutos Nacionales de Envejecimiento en Estados Unidos (NIA).

En este estudio, todavía en curso, los monos fueron divididos en dos grupos, uno experimental y otro control. Los monos del grupo experimental mantienen una dieta con una reducción de calorías del 30% con respecto a la de sus congéneres del grupo control (que no tienen limitación en la ingesta de alimentos). En 1997, tras once años de estudio, las conclusiones provisionales alcanzadas son que los monos con restricción calórica no sólo mantienen una actividad motora espontánea y unos parámetros cardiovasculares de características más juveniles, sino que padecen menos enfermedades cardiovasculares o tumorales y consecuentemente una menor tasa de mortalidad que los monos del grupo control. De ello se podría concluir, de modo muy provisional, que la restricción calórica en los primates, al igual que en los roedores, es eficaz y provee efectos beneficiosos sobre el proceso de envejecimiento y sus patologías acompañantes (Roth *et al.*, 1999). Quizá como apunte final sería interesante añadir que en un estudio reciente realizado en

la ciudad de Nueva York con un gran número de sujetos con baja ingesta de alimentos se ha visto que dicha población tiene un riesgo más bajo de padecer la demencia tipo Alzheimer. Parecidos resultados se han obtenido en poblaciones genéticamente similares de África con una ingesta diaria de calorías muy reducida en las que, del mismo modo, se ha podido estimar una reducción de casi un 50% en el riesgo en la incidencia de demencias (Prolla y Mattson, 2001).

Por su parte, el ejercicio físico regular moderado está mostrando unos beneficios claros sobre el proceso de envejecimiento. Durante mucho tiempo se ha creído, sin conocimientos muy fundados, que el ejercicio físico moderado era beneficioso para el mantenimiento funcional de todos los aparatos y sistemas del organismo humano durante el envejecimiento (Lamb *et al.*, 1995). Estudios recientes sostienen, con datos sólidos, esta hipótesis y además muestran sus beneficios no sólo sobre el sistema osteomuscular, cardiovascular y otros, sino también sobre el propio cerebro y sus funciones cognitivas (Kramer, 1999).

Varios trabajos recientes han mostrado que el ejercicio físico aeróbico regular, tanto en animales de experimentación como en seres humanos (andar o correr de forma moderada y programada todos los días), mejora las funciones cognitivas (corteza prefrontal) (Kramer, 1999), aumenta los niveles de neurotrofinas (lo que sería indicativo de mantenimiento funcional y plasticidad del cerebro) (Neeper *et al.*, 1995), aumenta el número de neuronas en el hipocampo y es beneficioso, además, en procesos de enfermedades del cerebro tanto psiquiátricas (Szabadi, 1988) como neurodegenerativas (enfermedad de Parkinson), en cuyos pacientes se ha podido comprobar una prolongación de su vida (Kuroda *et al.*, 1992). Todo esto apunta a un beneficio real del ejercicio físico sobre el organismo durante el proceso de envejecimiento.

### ¿TODOS DEMENTES A LOS 130 AÑOS?

Durante mucho tiempo se venía especulando que con la edad (a la luz de las estadísticas mostrando que en poblaciones institucionalizadas de más de 90 años existía una incidencia de demencia senil cercana al 50%) el destino fatal de todo ser humano era la demencia. Inclusive, durante mucho tiempo han aparecido artículos en revistas científicas de prestigio señalando que la propia enfermedad de Alzheimer podía ser un proceso de envejecimiento normal precoz. (Esto último parece descartado con el cúmulo de evidencias genéticas y clínicas diferenciando claramente el proceso normal de envejecimiento de este otro patológico que es la enfermedad de Alzheimer.)

Pero hace apenas unos meses un trabajo titulado «Vida máxima y sinapsis: ¿Podría existir una demencia senil primaria?» proponía que durante el proceso normal de envejecimiento (individuos con ausencia de patologías cerebrales y funciones cognitivas normales) hay una pérdida progresiva de sinapsis de la corteza cerebral (véase figura 17). Tan progresiva es esta pérdida que alcanzados los 100-120 años se puede llegar a un

nivel cercano al 40%, límite que se ha estimado para la aparición de la demencia. Dicho más claramente, todo ser humano cercano a lo que se considera la vida máxima (estimada en los 125 años) habría perdido la razón. Precisamente, la enfermedad de Alzheimer, o la demencia sintomática, está directamente relacionada con la pérdida de la conectividad cerebral (estimada en esa pérdida de 40% de las sinapsis corticales) (Terry y Katzman, 2001).

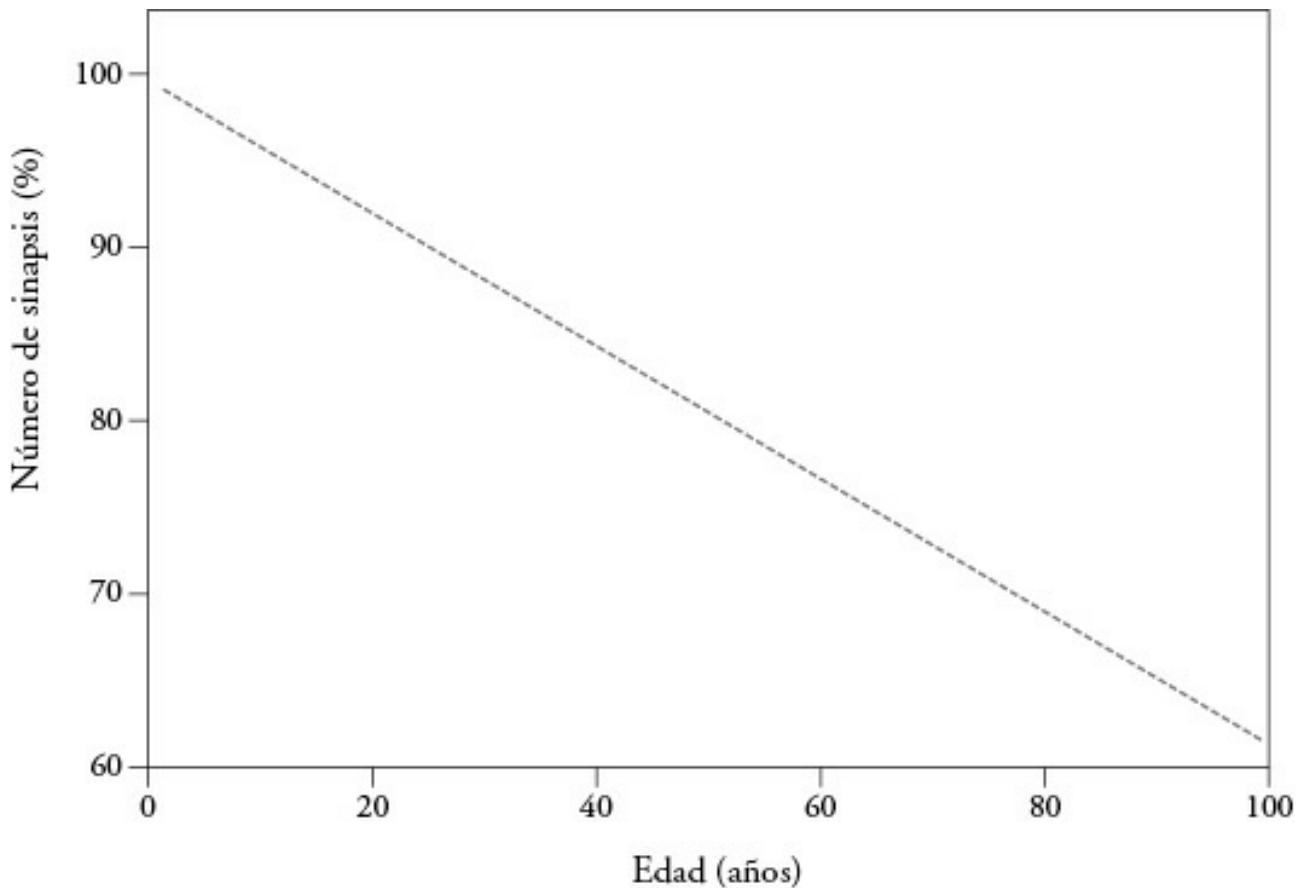


FIGURA 17. Densidad sináptica en la corteza prefrontal durante el proceso de envejecimiento normal (modificado de Terry y Katzman, 2001).

Las extrapolaciones de este trabajo van mucho más lejos al considerar que los individuos nacen con una determinada densidad sináptica en la corteza cerebral y dependiendo de ella se alcanzaría la demencia en tiempos diferentes. Así, individuos que nacen con poca dotación sináptica alcanzarían la demencia antes que otros que han nacido con mayor dotación. Claro que estos asertos no tienen en cuenta uno de los factores más poderosos en determinar el árbol dendrítico y sináptico de las neuronas que es el del medio ambiente. A este respecto señalan Terry y Katzman (2001):

Los hallazgos relativos a la prevalencia de la demencia y la enfermedad de Alzheimer en la población envejecida de analfabetos o poco instruidos podrían

ser explicados (inferido de animales de experimentación) considerando que la educación produce multiplicación de las sinapsis corticales. Un menor aumento en la densidad sináptica ocurriría con una educación deficiente, y de nuevo el descenso sináptico edad-relacionado llevaría al paciente privado al umbral crítico de la demencia más rápidamente.

En cualquier caso, abierta esa posibilidad, yo quisiera recordar las palabras de Hayflick (2000), que comparto:

Los biogerontólogos (y yo añadiría los neurocientíficos) tienen la obligación de remarcar que la meta de la investigación en envejecimiento no es la de aumentar la longevidad humana independientemente de sus consecuencias, sino la de aumentar la longevidad activa, libre de incapacidades y dependencias funcionales.

#### VEJEZ E INMORTALIDAD

No parece haber ningún ser vivo inmortal. La inmortalidad, en su más estricta definición, no parece haber sido nunca demostrada, ni siquiera en los experimentos realizados en 1998, en los que se describió que células humanas normales pudieron ser inmortalizadas (Bodnar *et al.*, 1998).

Tampoco son inmortales las muchas especies que, al parecer, viven miles de años, como, por ejemplo, ciertos grupos de arbustos del norte de México pertenecientes a la especie *Larrea tridentae* o *Gobernadora* que se dice tienen 11.700 años o, para el caso, las anémonas marinas, citadas frecuentemente como un organismo que tiene cientos de años de edad y que, sin embargo, al ser un animal colonial, sus células componentes se recambian regularmente y son, de alguna manera, un animal nuevo cada cierto tiempo. Tampoco es inmortal el ciprés gigante de México, que produce capas nuevas todos los años y frutas vigorosas a pesar de sus 5.000 años de vida y división celular.

La inmortalidad es, pues, un mito (al menos para la vida en la Tierra) como el que se nos relata en el quinto de los himnos homéricos y que el hombre, sin embargo, no querría alcanzar. En él se refiere a Titono y Aurora, donde Zeus, ante la súplica de Aurora, diosa del Amanecer, confiere a Titono, su amado, el don de la inmortalidad: «...pero no atinó en su mente –relata Homero– la augusta Aurora de impetrar para él una juventud perpetua, a fin de arrancarle de la funesta e inmisericorde vejez...». De este modo, Titono, inmortal, envejece. Pasado el tiempo y decrepito ya, Titono pierde el movimiento de sus miembros y también la cabeza. Y, en su soledad, entre voces incoherentes que fluyen sin cesar, pide y suplica el don de la muerte que no se le concede. Titono, posiblemente loco y empequeñecido, todavía vaga –según alguna versión– entre las olas de los inmensos océanos.

Pienso que no sólo el pensamiento de la inmortalidad sino ni tan siquiera la

prolongación de la vida a ciertos límites (tras lo comentado en el apartado precedente) parecen, en modo alguno, deseables. Entre otras muchas cosas porque ello haría perder, en muy buena medida, el lugar real que el hombre tiene en este mundo. La finitud o la muerte, si se quiere, está en la propia esencia del hombre. Es un don por el que, precisamente, suplicaba Titón sin ser escuchado. Como señala Karl Popper (1980):

[...] deberíamos ver que es la certeza práctica de la muerte lo que contribuye, en gran medida, a dar valor a nuestras vidas y especialmente a la vida de los demás. No valoraríamos la vida si ésta estuviese abocada a proseguir para siempre. Es el hecho de que es finita y limitada, el hecho de que hemos de enfrentarnos a su fin, el que le confiere, precisamente, su mayor valor...

El destino inexorable de la muerte es un capítulo final del libro de nuestra vida que necesariamente todos tendremos que leer, algunos de modo dramático, otros con el privilegio de darse cuenta de que envejecen. Envejezcamos, pues, con tranquilidad, pureza y elegancia, como señalaba Cicerón, y así se nos hará este tiempo de nuestra vida:

[...] plácida y suave. Tal como hemos aprendido de Platón, que murió escribiendo a los ochenta y un años, y también de Isócrates, que dice que escribió aquel libro titulado *Panateneas* a los noventa y cuatro y que vivió cinco años más (Cicerón, *De Senectute*)

y así debiéramos llegar al final:

Y de la misma manera que las aficiones de las edades anteriores desaparecen, así también desaparecen las de la vejez. Cuando esto ocurre, la saciedad de la vida acerca el tiempo maduro de la muerte (Cicerón, *De Senectute*).

## ¿QUÉ NOS DICE, ACERCA DE NOSOTROS MISMOS, CONOCER ALGO DE CÓMO FUNCIONA EL CEREBRO?

No es posible descender dos veces al mismo río.

HERÁCLITO.

Cánsate ya, mortal de fatigarte  
En adquirir riquezas y tesoros,  
Que últimamente el tiempo ha de heredarte  
Y al fin te han de dejar la plata y el oro  
Vive para ti solo si pudieres,  
Pues sólo para tí, si mueres, mueres.

FRANCISCO DE QUEVEDO Y VILLEGAS  
*Pinta la vanidad y locura, canción I.*

El estudio del cerebro es una de las últimas fronteras del conocimiento humano y de mucha más importancia inmediata que entender la infinitud del espacio o el misterio del átomo. Porque sin una descripción del cerebro, sin una descripción de las fuerzas que modelan la conducta humana nunca podrá haber una nueva ética verdaderamente objetiva, basada en las necesidades y los derechos del hombre. Necesitamos esa nueva ética si hemos de superar la intolerancia de la diferencia que ha atrincherado a la sociedad en el dogma y la discriminación y disipar la falacia naturalista de argumentar que la manera en la que nos comportamos es la manera en la que debemos obligadamente comportarnos [...] El cerebro luchando por entender el cerebro es la propia sociedad tratando de entenderse a sí misma.

C. BLAKEMORE  
*Mechanics of the Mind.*

En el Centro de Incubación y Acondicionamiento de la Central de Londres de la Comunidad, identidad y estabilidad del Estado Mundial, el Director del Centro les explicaba a sus alumnos que un óvulo, un embrión, un adulto, es lo normal. Pero he aquí que el óvulo bokanowskyficado rebrota, se reproduce, se segmenta y resultan de ocho a noventa y seis brotes y cada uno se convertirá en un embrión perfecto y cada embrión en un adulto de perfecta talla. Es decir, que se producen noventa y seis seres humanos de lo que antes se formaba uno [...] seres idénticos, no por grupos de dos o tres, como en los viejos tiempos vivíparos, cuando los óvulos se dividían accidentalmente, sino por docenas, por veintenas a la vez [...] hombres y mujeres en serie [...] ¡noventa y seis seres idénticos trabajando en noventa y seis máquinas idénticas! [...] Gammas en serie, deltas uniformes, epsilones invariables. Millones de gemelos idénticos, el principio de la producción en masa aplicado por fin a la Biología [...] Instrumentos más eficaces de la estabilidad social.

Cuando Aldous Huxley escribió todo esto en su obra *Un mundo feliz*, en 1932, ni siquiera en el mejor de sus ensueños pudo anticipar lo que nos iban a enseñar las ciencias del cerebro en el resto del siglo XX. Y aun cuando es posible que algún día se puedan fabricar artificialmente y en serie seres genéticamente iguales en el momento de la concepción (si algún desquiciado designio de la naturaleza humana lleva a ello), nunca se podrán obtener seres humanos idénticos ni incluso creciendo y desarrollándose en ambientes «idénticos», trabajos «idénticos» y educación «idéntica». Tal cosa no puede existir por la simple razón de que el medio ambiente, siempre cambiante y variable, es un determinante poderoso junto a la carga genética. Y es de esta manera que la versatilidad de la naturaleza biológica del hombre se hace singular y diferente. La diversidad está en la raíz misma de la existencia humana.

#### DE GENES Y MEDIO AMBIENTE

El ser humano se construye en un primer momento con la información única contenida en su genoma. Cada ser humano tiene aproximadamente unos 30.000 genes y unos 3.000 millones de pares de bases. Toda la información necesaria para la construcción del organismo humano y su cerebro está contenida en esos genes, que se expresan en la síntesis de proteínas. Hoy se estima que el conjunto de esas proteínas, el hoy llamado proteoma, tiene un tamaño de alrededor de unas 300.000 proteínas.

Es más, la secuencia de la molécula del ADN, donde residen los genes, es prácticamente idéntica para todos los seres humanos (99,9%). El margen de diferencia entre individuos no es más del 0,1%, aproximadamente tres millones de pares de bases. En este pequeño porcentaje residen, en último término, todas las diferencias genéticas encontradas entre los individuos humanos en el amplio espectro que va desde las diferencias corporales a las habilidades mentales y las incapacidades y enfermedades. Dicho de este modo pareciera que el organismo humano, o, para el caso, cualquier organismo vivo, debiera formarse de una forma casi rígida y determinista. Sin embargo, es, en buena medida, lo contrario. A todos los niveles, desde el gen a la proteína y de ésta a la célula y al grupo de células y luego a la función y la conducta, hay una infinidad de interacciones con el medio ambiente siempre cambiante y a veces azaroso, dando lugar a un sistema más abierto que cerrado. Por ejemplo, un solo gen puede codificar para más de una proteína, cuya consecuencia es que haya un proteoma mayor que el genoma. Cada proteína por unión a otros componentes tiene además un enorme espectro de variaciones. Pero es más, una misma proteína puede participar en más de una función y varias proteínas interactuar para coordinar una sola función.

Todo lo expresado nos puede llevar a pensar en qué medida un sistema tan aparentemente abierto nunca da lugar a un individuo humano concreto. Lo que parece claro es que un único y singular genoma inicial tiene la potencialidad de crear múltiples posibles individuos, y es sólo el juego de interacción genes-medio ambiente y la

selección específica en cada paso lo que da lugar al individuo concreto que luego se desarrolla a lo largo de la vida. Yo mismo resumía estas disquisiciones en *El reloj de la sabiduría*:

Hasta hace muy poco pensábamos que el dictado genético en el desarrollo y formación del cerebro, tanto el del ser humano como el de cualquier otro mamífero antes del nacimiento, era bastante monolítico y fijo. Hoy sabemos que el desarrollo del cerebro de cualquier ser vivo es un proceso muy versátil. El dictado genético no es tal dictado, sino más bien un «proyecto» que puede desarrollarse por diferentes caminos en función del «medio ambiente» en el que se desarrolló ese proyecto. Es cada vez más evidente que las barreras entre lo genético y lo ambiental se han roto. Como también se han roto las barreras entre lo bioquímico, la morfología, la fisiología y la conducta. Todo ello es un *continuum* espacio-tiempo. En ese proceso continuo, que sazonado constantemente por el medio ambiente va del gen a la bioquímica y de ésta a la morfología y la función, se crea un ser único y genuino.

Esta dinámica que acabamos de comentar llega a su punto máximo en el ser humano. Y ello se debe a que esa interacción genes-medio ambiente externo es mayor para aquellos seres vivos que tienen un mayor tiempo de desarrollo fuera del claustro materno. El ejemplo máximo de ello se puede dar con el desarrollo del cerebro del hombre. El hombre nace con un peso de cerebro de alrededor de 350 gramos y alcanza un peso final, cuando adulto, de unos 1.400 gramos. Esto nos indica que más del 75% del peso total del cerebro humano y sus intrincadas conexiones se obtiene por esa relación entre genes y el inmediato contacto con el medio ambiente externo. Y es ese medio ambiente el que cincela la singularidad final del cerebro durante el desarrollo. Precisamente el desarrollo final y la obtención del peso máximo del cerebro humano no se alcanzan hasta los 25-30 años de edad. Al final de este proceso de desarrollo, el cerebro de cada ser humano es distinto en morfología, tanto externa como interna, y esto es así, además, aun cuando en menor grado, para los gemelos univitelinos, monozigóticos, lo que nos confirma la poderosa influencia del medio ambiente en el que vive el individuo humano para formar su cerebro.

Y ya una vez formado, una vez que se realiza ese ser humano adulto singular, lo paradójico es que nunca se alcanza una singularidad estable, inalterable, que es la que nosotros mismos y, desde luego, quienes nos rodean parecen ver en nosotros. El ser humano es como el río de Heráclito, nunca es el mismo. Los cambios y los recambios del cerebro de todos los días y junto a los días los tiempos de todo el arco vital no son una pura apariencia de cambio, sino un cambio real de nosotros mismos.

#### DE CÓMO EL CEREBRO CAMBIA EN SU RELACIÓN CON LOS DEMÁS Y EL MUNDO

Cambios anatómicos en el cerebro ocurren a lo largo de toda la vida de un ser humano (producidos por la expresión de genes, pero no transmisibles de un individuo a otro) y con ellos las capacidades, las habilidades y la propia personalidad que un individuo forja y desarrolla. Cambios plásticos en el sentido de una reorganización de áreas del cerebro tanto somatosensorial como visual y auditivo han sido demostrados tanto en animales de experimentación como en los seres humanos. Estos cambios también se han observado en las áreas motoras de la corteza cerebral. Efectivamente se ha podido ver en monos que tras la amputación de un dedo de la mano el área cerebral que recibe información de ese dedo es invadida por información procedente del dedo adyacente. O una estimulación constante de uno de los dedos en estos monos resulta en una expansión del mapa cerebral dedicado a procesar la información de ese dedo a costa del mapa de los otros. En seres humanos, algo similar se ha detectado al encontrar, en ciegos, que el dedo índice, dedicado a leer en Braille, tiene una representación cortical más grande que en los sujetos normales no ciegos (Mora, 2001).

Abundando en estos datos vale la pena resaltar dos estudios recientes. El primero realizado en nueve músicos, seis violinistas, dos chelistas y un guitarrista, que han venido tocando sus instrumentos por un periodo de casi doce años y con una edad media de veinticuatro años. En él se estudió el área de la corteza somatosensorial ocupada por los dedos primero y quinto de las manos derecha e izquierda (dedos de la mano izquierda utilizados para tocar las cuerdas de los instrumentos). Estos datos fueron comparados a sujetos control no-músicos de edades similares y se encontró que la representación de los dedos primero y quinto de la mano izquierda de los músicos era mayor que la representación de los mismos dedos de la mano izquierda de los controles no-músicos y, además, las áreas ocupadas por éstos eran mayores para los músicos que comenzaron a tocar el instrumento a una edad más temprana. No hubo diferencias entre los dedos de la mano derecha de los músicos y los controles (Elbert, 1995). Estos experimentos muestran claramente que nuestro cuerpo está representado de una forma dinámica en las áreas somatosensoriales de la corteza cerebral y que ésta varía con los cambios de nuestro cuerpo.

El segundo estudio (Giraud *et al.*, 2001) refiere a la reorganización de la corteza motora antes y después de realizarse el trasplante de un miembro. C. D. fue un paciente que sufrió un grave accidente en el año 1966 a consecuencia del cual le fueron amputadas ambas manos. Cuatro años después C. D. recibió un trasplante de manos. Unos meses antes de la operación quirúrgica se mapeó en su corteza motora la representación de las manos perdidas utilizando técnicas de resonancia magnética (esto último se hizo estimulando los músculos del antebrazo que corresponden a los dedos de la mano perdida). Se pudo comprobar que solamente hubo la activación de una pequeña zona del área correspondiente a la localización de la mano en el homúnculo motor. Posiblemente, como demuestran muchos estudios experimentales, como los referidos anteriormente con los monos, el área de la mano fue invadida por la representación de

otra parte del cuerpo, muy probablemente la cara. Después del trasplante se hicieron estudios periódicos y se comprobó cómo, a los seis meses, la nueva mano venía a ocupar de nuevo toda la extensión del área motora correspondiente. Todo ello habla de la enorme plasticidad que también posee la corteza motora y de la reversibilidad de la organización cerebral tras la amputación.

Y ello nos lleva a la idea de que posiblemente otras áreas de nuestro cerebro, las áreas de asociación de la corteza cerebral, que codifican para las funciones superiores, léase procesos mentales y conciencia, también cambian por influencias y factores sociales.

Estas influencias sociales serán incorporadas biológicamente en la expresión de genes específicos en neuronas específicas de regiones específicas del cerebro. Estas alteraciones influenciadas socialmente son las que se transmiten culturalmente. En los seres humanos, la capacidad de cambiar la expresión genética a través del aprendizaje es particularmente efectiva y ha dado lugar a un nuevo tipo de evolución: la evolución cultural (Kandel, 1998).

Y con estos cambios debiera igualmente cambiar nuestro «yo». Porque el «yo», como hemos visto, se cree que es una referencia que el cerebro tiene de los acontecimientos del mundo y de su propio cuerpo. El yo, señala Llinás, no es una cosa tangible, sino la expresión de la función de un sistema (tálamo-cortical) «que relaciona las propiedades referenciales sensoriales del mundo externo a las motivaciones y memorias generadas internamente». Si ello es así, entonces no debe caber duda alguna que el yo de cada individuo cambia con el tiempo. Y con ello la personalidad, las emociones y sentimientos y también la luz (la conciencia) que los ilumina a lo largo de todo nuestro arco vital desde la infancia hasta la vejez. Y ¿acaso ello no es experiencia de todo ser humano cuando reflexivamente piensa y compara el «sí mismo» de su infancia con el yo de veinte años después, y el yo durante la vejez?

Señalaba yo en *El reloj de la sabiduría*:

Mi yo de hoy difiere de modo importante de mi yo de hace treinta años. Mi identidad como yo, que parece persistir sin embargo a lo largo del tiempo, es realmente una actualización constante y consciente de todas las percepciones que recibo de mí mismo cada minuto, cada día, en el marco de mis percepciones anteriores. Posiblemente esa actualización sólo descansa durante las siete horas de sueño. Y es a la mañana siguiente, cuando me levanto y me miro por primera vez al espejo, que retomo mi yo y mi constante e incansable reactualización de mí mismo. Enmarco cada pensamiento, cada sentimiento, cada arruga nueva de mi cara y de mi cuerpo en una constante actualización y cambio de mi cerebro que además soy yo mismo. Eso hace que exista el «fantasma» de mí mismo. Y eso sucede igualmente en el cerebro de quienes en casa, en la familia o colegas en el trabajo te ven horas todos los días. Sin embargo, tal cosa no sucede en el cerebro del amigo que no te ha visto en treinta años. Su actualización de ti en su

cerebro no ha ocurrido, tampoco ello es posible en las pocas horas o días que puede durar el encuentro tras los treinta años de separación. No es posible su actualización de ti mismo, ni en lo físico ni en lo psíquico. Tú eres ya una persona diferente, y él, también.

Y si todo esto es cierto y toda actividad humana gira en torno a esos millones de «yo» diferentes en el mundo, ¿de qué manera se podría entender nunca al ser humano en profundidad, sino conociendo en último término cómo funciona su cerebro?

#### DE CÓMO ELEGIMOS ENTRE PERSONAS Y COSAS

Pues si el cerebro cambia (lo que incluye a ese «mí mismo») como resultado del medio en que se vive (lo que incluye a los demás y las consecuencias de mi propia conducta), debe ser entonces cierto que nos hacemos a nosotros mismos. Y todo ello tiene que ver con nuestra libertad. Está claro que la libertad es un acto de elección consciente. Una elección entre cosas u opciones. Pero ese acto, no coaccionado, viene predeterminado en parte por el marco personal de referencias que posee el individuo en su cerebro. La libertad nos permite escoger, pero es una elección constreñida por nuestras elecciones previas que tiene como base nuestro aprendizaje, tanto intelectual como emocional, y nuestras memorias. (Nadie puede elegir entre cosas que desconoce. Nadie puede ser libre y hacer elecciones libres en un medio como la ingeniería, la economía o la medicina o cualquier otro, incluido un medio social y político, si desconoce ese mundo). Nuestras elecciones cambian y recambian nuestro cerebro al colocarnos constantemente ante nuevos marcos sociales elegidos por nosotros mismos. Conociendo esta consecuencia, parece evidente que somos y nos hacemos con nuestras elecciones.

Pero si nuestras elecciones vienen determinadas y constreñidas por nuestras elecciones previas, ¿somos verdaderamente libres? La pregunta se puede responder desde muchas perspectivas. Desde la ética, esta respuesta va siempre unida a la responsabilidad moral del ser humano. Si somos seres libres, somos seres moralmente responsables, y si no lo somos, es decir, si nuestras acciones son deterministas (ante una determinada situación siempre actuaríamos de la misma y fija manera), entonces habría un serio hueco en nuestra responsabilidad. Y es aquí en donde las ciencias del cerebro han entrado en este campo minado del pensamiento humano. La pregunta esencial aquí es ésta: en una situación concreta, y conociendo todos los determinantes de la misma, ¿somos libres para elegir la respuesta o ya ésta viene impuesta por nuestras condiciones físicas y los determinantes de nuestro cerebro? La pregunta no es baladí. Conocer los mecanismos por los cuales nuestro cerebro alcanza a conocer y realizar nuestras intenciones y acciones es de crucial importancia para una buena contestación.

En un reciente libro, *La neurofilosofía de la libertad*, Henrik Walter (2001) construye la idea de la libertad humana sobre la base de que ante una situación concreta el ser

humano podría alternativamente haber actuado de otra manera, y lo hace, por tanto, sobre posibilidades que tiene que sopesar y sobre la idea de que el ser humano es el origen último de sus propias acciones. En la propuesta contraria, es decir, aquella en la que el ser humano es absolutamente determinista, el hombre, ante una situación muy específica y concreta, siempre respondería de la misma manera y está claro que tal no parece ser el caso.

El hombre es altamente impredecible en sus respuestas y, visto al menos desde fuera, cambia en sus elecciones ante situaciones aparentemente «idénticas». Y es que posiblemente lo «idéntico» y sin cambio no existe jamás ni en el cerebro del hombre ni en su medio ambiente. Efectivamente, en la esencia de casi todo en el mundo está el cambio, y nada se repite de modo idéntico. Realmente lo único que permanece sin cambios es el cambio mismo. Incluso en física, la teoría del caos desarrolla la idea de que diferencias minúsculas en las condiciones iniciales de un sistema pueden dar lugar a resultados muy diferentes. Nunca se repiten las mismas condiciones, siempre hay un ingrediente diferente, por pequeño que sea, y es precisamente en esto último que se podría basar, en buena medida, la concepción neurofilosófica de la libertad humana, es decir, que ante situaciones «idénticas» el ser humano puede responder de modo diferente, no porque un ser inmutable y «espiritualmente libre» posea esa «intrínseca» característica, sino porque cada acto de elección es diferente tanto porque es diferente el cerebro que elige como porque es diferente la cosa elegida o decisión tomada. Es en este sentido que el hombre sería libre, y en ese sentido sería un ser responsable.

## SOBRE LA EMOCIÓN Y LA COMPETITIVIDAD

Desde Sigmund Freud a Konrad Lorenz se sostiene la idea de que el ser humano es agresivo por naturaleza. Desentrañar los mecanismos cerebrales por los que esto sucede nos debe llevar a la idea consciente de cómo y por qué tal cosa ocurre en el cerebro humano y cómo, además, ello se ha obtenido a través de la evolución y se adquiere en el desarrollo del individuo desde el nacimiento. Sin duda que la agresión ha debido presidir el funcionamiento del cerebro y conducir a mantenernos vivos, es decir, a la supervivencia, fin último de toda existencia biológica. Pero la agresividad del ser humano no debiera ser entendida como una vía única y determinada conducente a la lucha y la destrucción. Como señala Wilson (1978), «la agresión en cualquier especie concreta es un espectro de respuestas diferentes mal definidas».

En el ser humano hay actitudes agresivas en el amplio espectro que va desde la destrucción (violencia) a la construcción (creatividad), pasando por ese abanico que va desde el odio al desdén y la competitividad. Por ejemplo, a lo largo de la evolución posiblemente el ser humano ha creado prejuicios raciales y odio y rechazo a las diferencias, fueran éstas para alcanzar primero los mejores alimentos y charcas de agua y luego religiosas o políticas, y lo ha hecho con violencia. La historia lo muestra

sobradamente. La historia de la humanidad ha sido una permanente lucha contra lo que es distinto y diferente, y de hecho la historia se cuenta como progreso de guerra a guerra, de conquista a conquista, de invasión a invasión. Y han sido particularmente los pueblos vecinos, los más cercanos, los que más lo han sufrido, hutus y tutsis, católicos y protestantes en Irlanda del Norte o judíos y palestinos, por poner ejemplos que todos conocemos. ¿Qué ha codificado en nuestros cerebros ese odio e intolerancia por lo diferente?

Pero también la agresión subyace a nuestro sentido competitivo por ser mejores que los demás (como personas, como sociedades, como países), en el deporte, los negocios, la política, la economía, las religiones. Y ello, sin duda, querámoslo o no, es lo que ha permitido la supervivencia de las sociedades y su progreso hasta nuestros días. Pero ¿hasta qué punto y profundidad sigue siendo hoy verdaderamente necesario a las sociedades civilizadas? ¿Y qué hay detrás de todo ello sino los mecanismos de la emoción y los sentimientos? ¿Podremos algún día reconducir y reconvertir esa agresividad contenida en la naturaleza humana a través del conocimiento profundo de los mecanismos de la emoción que operan en nuestro cerebro? ¿Tendrá el hombre suficiente sabiduría para ello? A este propósito señalaba yo:

La sabiduría humana no consiste en saber mucho de poco ni poco de mucho. La sabiduría humana consiste en andar el camino que nos lleva al control del fuego emocional que está por debajo del pensamiento y lo enciende (Mora, 2001).

Conocer los mecanismos del sistema límbico-emocional que dan fundamento a estos prejuicios escondidos en sus profundidades y cómo ello se pone en marcha y cambia nuestra conducta requiere reconocer que tal cosa existe y luego modificarlo de nuevo en nuestra conducta de forma consciente a lo largo de la educación del individuo. ¿Con qué mecanismos opera el cerebro para conducir nuestras conductas de modo inconsciente? Investigar en los sistemas de la emoción y en la formación de la memoria inconsciente implícita que ya hemos visto puede ayudar de modo considerable. Algunas reflexiones sobre estos temas fueron exploradas en los capítulos 5 y 6 de este mismo libro.

Precisamente, una forma en la que se ha recanalizado la agresión y el odio es con la creación intelectual o artística. Esa energía en el hombre civilizado se puede canalizar adecuadamente hacia una meta creadora de cultura. ¿Qué son las grandes creaciones de la cultura que conocemos en la pintura, la literatura, la música y el mismo pensamiento sino el producto de un pensamiento encendido por la emoción y en cierta manera la agresión? Precisamente las más altas cotas de creación se han dado en personas «anormales» y de alguna manera caóticas y agresivas en sus patrones de conducta cotidianos. Desde Van Gogh a Donizzeti o Schumann o Wagner y Lord Byron hasta Nietzsche o Newton. Un creador, un gran artista, que sea siempre feliz y tenga una vida tranquila, alegre y sin conflicto agresivo con el medio que le rodea no existe. La creatividad es el proceso que realiza un ser humano de talento que no ha satisfecho

muchas de sus necesidades en la vida (vida diaria), y es quizá que sus frustraciones y agresiones han encontrado refugio en la creación, sea ésta intelectual, científica o artística.

#### DE LA GRANDEZA Y LA MISERIA DEL CEREBRO

El hombre está y vive solo. Y aun en la más estrecha intimidad de dos seres humanos que se complementan y sintonizan con sus lenguajes y su visión del mundo, la comunicación no va mucho más allá de las palabras. Y las palabras son como los sueños, que cuando son contados falsifican el mensaje genuino. Angustias, miserias, desesperanzas y alegrías calan a un nivel de existencia íntima en el ser humano que no son comunicables ni compartibles en sus cualidades más profundas. Esos *qualia* emocionales son genuinamente individuales e intrínsecamente incomunicables más allá de cierto nivel de conducta. La conciencia de la intimidad no es compatible. Es un rincón al que sólo llega el propio individuo y para él mismo. Es así que la autoconciencia se convierte en un mecanismo último de aislamiento.

El cerebro humano, además de construir un mundo hacia «afuera», construye un mundo hacia «adentro» que es paralelo pero en dirección opuesta a aquel que se expresa en la conducta y en el lenguaje. Ese hacia adentro apenas es comunicable al otro y aun menos entendible por el otro. Cada ser humano ve un mundo y concibe un mundo diferente y en cierta manera incomunicable. De ahí que cada ser humano sea un universo único e irrepetible.

Y todo esto nos lleva a considerar la grandeza y la miseria de nuestro cerebro. La grandeza de nuestro cerebro está en que nos ha permitido alcanzar cotas de conocimiento insospechadas. Nos ha dado conocimiento de cómo construimos el mundo, no el mundo físico que como tal desconocemos, sino nuestro mundo (el mundo construido por nuestro cerebro gracias a los estímulos que recibimos). «Mundo nuestro» que va más allá de la inmediatez de las férreas tenazas de la supervivencia y nos ha permitido crear el amor y la belleza y con ello el arte y el conocimiento. Ésa es la grandeza de nuestro cerebro. Pero también con ello, con el conocimiento y la conciencia, se revela la miseria de nuestro cerebro al no permitirnos ver más allá y nos deja en la irresoluta agonía de nuestra propia finitud y muerte. Y es de este último conocimiento a su vez que nuestro propio cerebro, en su desmedido afán de supervivencia, nos eleva al infinito. Y construimos aquí, en nuestro mundo de todos los días, un nuevo mundo «más allá» en ese afán de querer seguir vivos.

#### LAS CONJETURAS DEL CEREBRO

La creencia religiosa arranca de ahí. Ante una pregunta o serie de preguntas no

contestables o un problema que uno no puede resolver, el cerebro innatamente tiende a «conjeturar», a «inventarse algo», es el sentimiento de *make believe*. «La predisposición a la creencia religiosa es la fuerza más compleja y poderosa en la mente humana y con toda probabilidad una parte irradicable de la naturaleza humana» (Wilson, 1978). Y de alguna manera debe ser así, pues se estima que el hombre, a lo largo de su corta historia, ha producido o creado más de cien mil religiones diferentes. Y no debe caber ninguna duda de la poderosa influencia que han debido tener estas religiones para la supervivencia del hombre. Incluso las más altas, organizadas y universales de ellas. Señala de nuevo Wilson:

Las más altas formas de la práctica religiosa, cuando se examinan más detalladamente, se puede ver que confieren o tienen ventajas biológicas. Por encima de todo imprimen identidad. En medio de las experiencias caóticas y potencialmente desorientadoras a las que cada persona se ve sometida diariamente, la religión la clasifica, la acoge como miembro incuestionable dentro de un grupo que manifiesta tener grandes poderes, y de esta forma le da un sentido en la vida compatible con sus propios intereses. Su fuerza es la fuerza del grupo, su guía la sagrada alianza.

Principios que, por otra parte, son el origen de los prejuicios y la intolerancia a lo diferente, a los que no son del grupo.

Si la creencia religiosa, la religiosidad, es parte esencial de nuestra naturaleza «y una parte irradicable de la misma», debiéramos aceptarla pero con la disposición consciente de ser tolerantes a las diferencias. Aceptemos con ello «el hecho religioso» pero apliquemos un cambio en función de nuestros conocimientos sobre cómo opera el cerebro. Tratemos de educar a los niños en nuestras sociedades futuras con «conceptos religiosos», pero no con los conceptos y dogmas de una religión concreta. El cerebro infantil y adolescente graba, a fuego emocional en esos circuitos profundos que ya hemos señalado, las enseñanzas que recibe, y éstas son de hecho las que puestas en memoria consciente o inconsciente son poderosos determinantes de su conducta futura. Por eso hay que ofertar una enseñanza abierta que contraste, o al menos recanalice, nuestra naturaleza religiosa y nos haga tolerantes.

Las ventanas plásticas del cerebro que se abren y se cierran al conocimiento en los primeros años de la vida y también en ese periodo crítico que llamamos adolescencia son después muy difíciles de reabrir con la educación o modificación de las conductas (Mora, 2001). Por ello hay que educar desde el principio en una forma abierta y no determinista. La libertad sólo se puede construir con la capacidad amplia de elegir sobre la base de la experiencia previa del cerebro. De ahí que las sociedades futuras debieran considerar la educación de un ser humano hasta casi los veinte años sin prejuicios a las diferencias y desigualdades raciales, sociales (sexo, edad), políticas o religiosas y conseguir así un hombre o mujer abierto a todas las culturas. Y si esto último se entiende

bien, ello no debiera invalidar nunca que pueda tener, además, raíces en su propia cultura. Educar de alguna manera para alcanzar las más altas cotas de civismo y desarrollo de talentos en el ser humano debiera ser dar una base de cultura amplia sin prejuicios y averiguar al mismo tiempo para qué sirve esa persona y empujar esos talentos.

#### EL CEREBRO LUCHANDO POR ENTENDER EL CEREBRO

Las neurociencias empiezan a verse como una ciencia con «miras» más allá de simplemente entender el cerebro. De hecho, editoriales como aquel titulado «¿Están las neurociencias amenazando los valores humanos?», aparecido en la revista *Nature Neuroscience*, ponían bajo crítica estos conocimientos al poder ser éstos un desafío, «al contemplar una visión materialista de la naturaleza humana y de este modo un ataque a los sistemas de creencias tradicionales».

Pero el tiempo muy claramente pone en sedimento pausado todas las ideas, y son éstas las que por su peso, si son de valor, se abren paso ellas mismas. Ya hoy, en nuestros días, el impacto de las neurociencias alcanza, como he señalado, la concepción de la naturaleza humana, lo que incluye su relación con la psicología, la filosofía, la teología, la experiencia religiosa y la misma relación con Dios. En un reciente libro titulado *Neuroscience and the person. Scientific perspectives on Divine Action* (1999), editado por la editorial del Vaticano y el Centro para la Teología y las Ciencias Naturales de Berkeley, California, en la introducción del libro uno de sus editores señala:

¿Por qué la relación entre las neurociencias y la acción divina? La mayoría de los teólogos cristianos en la era moderna han seguido a René Descartes como anteriores teólogos lo hicieran con Platón, y así han asumido una visión dualística de la naturaleza humana (seres humanos hechos de alma [o mente] y cuerpo). Hasta ahora, por tanto, la acción de Dios en la esfera humana podía interactuar libre y directamente con las almas (esferas del espíritu). Pero dado que las neurociencias actuales cada vez aportan más peso a los argumentos de la unidad del ser humano –un puro organismo físico–, ello ha puesto en serio desafío a los comités teológicos que ven que si Dios tiene algo que hacer con los seres humanos debe hacerlo a través de la interacción con sus cuerpos y más particularmente aún con sus cerebros. El problema de la acción divina en el mundo humano depende, por tanto, de una respuesta al problema de la acción divina en el mundo natural, porque los humanos, considerados en términos de composición, son, en toda su dimensión, una parte del orden natural. De esta manera, la relevancia de las neurociencias para la teología consiste bastante en considerar el impacto de estas ciencias en un debate en marcha que refiere a la naturaleza de la persona humana.

Yo estoy convencido de que, en última instancia, toda la actividad humana está dictada por las leyes que gobiernan el funcionamiento del cerebro. Y que es sólo a través del conocimiento de este funcionamiento como podrá cambiar el mundo futuro a cotas «humanas» hoy no predecibles. Esos cambios del mundo futuro afectarán a las raíces de las concepciones éticas, religiosas o sociales y, consecuentemente, a las normas que gobiernan a los seres humanos, lo que incluirá la moralidad, la jurisprudencia y la política. De ahí que como señalaba Blakemore (1977):

El estudio del cerebro sea una de las últimas fronteras del conocimiento humano y de mucha más importancia inmediata que entender la infinitud del espacio o el misterio del átomo. Porque sin la descripción del cerebro, sin una descripción de las fuerzas que modelan la conducta humana, nunca podrá haber una nueva ética verdaderamente objetiva, basada en las necesidades y los derechos del hombre. Necesitamos esa nueva ética si hemos de superar la intolerancia de la diferencia que ha atrincherado a la sociedad en el dogma y la discriminación y disipar la falacia naturalista de argumentar que la manera en la que nos comportamos es la manera en la que debemos obligadamente comportarnos [...] El cerebro luchando por entender el cerebro es la propia sociedad tratando de entenderse a sí misma.

## GLOSARIO

Para una ampliación de este glosario remito al lector a la consulta del *Diccionario de Neurociencia*, F. Mora y A. M. Sanguinetti, Alianza Editorial, Madrid, 2004.

**ACTO MOTOR VOLUNTARIO.** Es la serie de movimientos precisos y coordinados que son voluntad del individuo. También se conoce como sistema motor piramidal.

**ADOLESCENCIA.** Periodo que transcurre entre los 14 y los 18 años de edad, clave en el desarrollo del cerebro emocional y en el que se suceden los grandes cambios biológicos, hormonales y psicológicos que conocemos como pubertad. Es éste un periodo en el que se continua la remodelación de la corteza cerebral (áreas de asociación).

**AFASIA.** Pérdida de la facultad de la expresión hablada secundaria a un daño cortical. Se muestra como una incapacidad de hablar (afasia motora o de Broca) o de entender el lenguaje verbal oído (afasia sensorial o de Wernicke). Es una alteración distinta a la disartria (alteración mecánica de la articulación de la palabra) y la disfonía (alteración mecánica de la vocalización de las palabras).

**AFASIA DE CONDUCCIÓN.** Defecto en la asociación de palabras por lesión del fascículo arcuato, que une las áreas de Broca y de Wernicke. Se conserva la capacidad de comprender el lenguaje escrito.

**AFASIA GLOBAL.** Afasia que se produce tras la lesión completa de la región presilviana (lo que incluye las áreas de Wernicke, Broca y el fascículo arcuato). Es una afasia motora, sensorial y de conducción.

**AFASIA MOTORA.** Alteración del habla producida por lesión del área de Broca. Se caracteriza por la dificultad para hablar sin que haya pérdida de la comprensión de lo hablado.

**AFASIA SENSORIAL.** Descrita por Wernicke. Es la incapacidad para la comprensión del lenguaje oído por lesión del área cerebral del mismo nombre.

**AGNOSIA AUDITIVA.** Tipo de afasia consistente en la incapacidad para reconocer o entender el lenguaje hablado, sin que haya pérdida del sentido de la audición. Se puede deber a una lesión de las áreas corticales auditivas (giro temporal superior) del hemisferio izquierdo (dominante).

**AGNOSIA TÁCTIL.** Incapacidad para el reconocimiento de objetos mediante el tacto, con una o ambas manos, sin que exista defecto en la sensibilidad táctil. Se relaciona con la lesión del lóbulo parietal posterior o del giro poscentral del hemisferio dominante.

**AGNOSIA VISUAL.** Incapacidad de reconocer visualmente un objeto a pesar de tener el ojo y las vías visuales intactas. Se asocia con lesiones de la corteza extraestriada e

inferotemporal. La agnosia visual puede ser muy específica, por ejemplo, la prosopagnosia.

**AGNOSIA.** Incapacidad o pérdida de la facultad de reconocer cosas o personas. Puede ser total o parcial y puede referir a cada uno de los sentidos. Las agnosias pueden ser muy específicas y referir no sólo a los sentidos, sino a la ideación o simbolismo (agnosia ideacional) o a la posición o localización de los objetos.

**AGRESIVIDAD, AGRESIÓN.** Cualquier acto físico o amenaza de acción por un individuo que reduce la libertad o posibilidad de supervivencia (social o física) de otro. La estimulación eléctrica o las lesiones físicas o químicas de muchas partes del cerebro (hipotálamo, amígdala, sustancia gris periacueductal entre otras) pueden provocar agresividad o convertir a un animal dócil en agresivo.

**AMÍGDALA.** Estructura cerebral en forma de almendra formada por un conjunto de núcleos de características histológicas diferentes. Está situada en el seno del lóbulo temporal. Forma parte, junto al hipotálamo, séptum, hipocampo y otras estructuras del sistema límbico, de los circuitos que participan en la elaboración de la emoción y motivación y en el control del sistema nervioso autónomo o vegetativo.

**AMNESIA.** Pérdida (total o parcial) de la capacidad de recordar. Se asocia con daño o lesión del lóbulo temporal e hipocampo.

**AMNESIA ANTERÓGRADA.** Tipo de amnesia caracterizada por la incapacidad para fijar hechos que tiene lugar después de la enfermedad o del trauma que ha producido la amnesia (memorias nuevas).

**AMNESIA GLOBAL.** Pérdida completa de la memoria.

**AMNESIA RETRÓGRADA.** Incapacidad de recordar sucesos recientes.

**APRENDIZAJE.** Proceso que realiza un organismo con la experiencia y con el que se modifica su conducta. Está íntimamente asociado a los procesos de memoria. Conlleva cambios plásticos en el cerebro que hoy se creen relacionados con la actividad sináptica.

**APRENDIZAJE INSTRUMENTAL.** Proceso de aprendizaje (con refuerzo positivo o negativo) por el que el animal debe realizar una respuesta que requiere la manipulación de un instrumento o palanca. Por ejemplo, apretar una palanca para recibir alimento o evitar la llegada de un shock eléctrico.

**ÁREA CEREBRAL.** Región del cerebro determinada por sus características anatómicas (lugar), histológicas, funcionales u otras.

**ÁREA CORTICAL.** Superficie delimitada de la corteza cerebral tipificada por sus características histológicas y (no siempre) por su función. Se distinguen las áreas corticales sensoriales, motoras y de asociación. Brodmann, sobre una base anatómica e histológica (citoarquitectura), distinguió en la corteza humana 11 áreas principales y 52 áreas menores.

**ÁREAS POLISENSORIALES.** Áreas en las que la información de las áreas específicas sensoriales converge para formar a su vez características más complejas del mundo que nos rodea y en las que se codifican programas específicos para conductas específicas.

**ÁREAS VISUALES DE LA CORTEZA CEREBRAL.** Sobre la base de estudios funcionales y de conexiones, las áreas visuales de la corteza cerebral han sido subdivididas en más de 25 áreas diferentes.

**ATENCIÓN.** Proceso neuropsicológico que dispone para seleccionar entre varios estímulos aquel al que responder.

**AUTOCONSCIENCIA.** Estado en el hombre que le permite reconocimiento del yo y su pensamiento.

**AUTOESTIMULACIÓN CEREBRAL.** Fenómeno descubierto por Olds y Milner en 1954 y que consiste en que un animal aprieta una palanca (o desarrolla cualquier otra conducta operacional) en orden a estimular ciertas áreas de su propio cerebro a través de electrodos crónicamente implantados.

**BRODMANN, ÁREAS DE.** Mapa de áreas de la corteza cerebral, descritas por Brodman en 1909. Basándose en el patrón citoarquitectural, la corteza queda dividida en 11 regiones principales y 52 áreas menores, cada una con su nombre. Dichas áreas fueron numeradas por Brodmann según el orden en el que sucesivamente las fue estudiando. Estas áreas no se corresponden con funciones específicas y, además, áreas diferentes comparten igual función. Las 52 áreas menores son las siguientes:

1. Área intermedia poscentral. Corteza somatosensorial.
2. Área caudal poscentral. Corteza somatosensorial.
3. Área rostral poscentral. Corteza somatosensorial.
4. Área gigantopiramidal. Corteza motora.
5. Área prefrontal.
6. Área frontal agranular. Corteza premotora.
7. Área parietal superior.
8. Área frontal intermedia.
9. Área frontal granular.
10. Área frontopolar.
11. Área prefrontal. Corteza límbica.
12. Área frontal microcelular.
13. Ínsula posterior.
14. Ínsula anterior.
15. Ínsula ventral.
16. Ínsula olfatoria.
17. Área estriada. Corteza visual primaria.
18. Área occipital. Corteza visual secundaria.
19. Área preoccipital.
20. Área temporal inferior. Corteza visual inferotemporal.
21. Área temporal media. Corteza visual inferotemporal.
22. Área temporal superior. Corteza auditiva.
23. Área cingular ventral posterior. Corteza límbica.
24. Área cingular ventral anterior. Corteza límbica.

25. Área subgenual.
26. Área ectosplenialis.
27. Área presubicularis.
28. Área entorrinal. Corteza límbica.
29. Área retrolímbica granular.
30. Área retrolímbica agranular.
31. Área cingular dorsal posterior.
32. Área cingular dorsal anterior.
33. Área pregnual, tenía tecti.
34. Área entorrinal dorsal.
35. Área perirrinal.
36. Área ectorrinal.
37. Área occipitotemporal.
38. Área temporopolar. Corteza límbica.
39. Área angular.
40. Área supramarginal.
41. Área auditória. Corteza auditiva.
42. Área parauditoria. Corteza auditiva.
43. Área subcentral.
44. Área opercular.
45. Área triangular.
46. Área frontal media.
47. Área orbital.
48. Área postsubicular.
49. Área parasubicular.
50. Área gustatoria.
51. Área piriforme.
52. Área parainsular.

**CAMBIOS PLÁSTICOS EN EL CEREBRO.** Reorganización de áreas del cerebro que reciben información sensorial y también en las áreas motoras de la corteza cerebral, es decir, aquellas que programan los actos de conducta.

**CARTOGRAFÍA CEREBRAL.** Técnica que permite registrar y medir los campos eléctricos del cerebro en forma de potenciales. Se realiza a través de electrodos de registro situados en el cráneo y mediante técnicas de computación que determinan los tiempos de actividad neuronal de distintas áreas del cerebro y su secuencia al pasar tal actividad de un área a otra en relación con la actividad mental concreta que se le impone o que realiza el individuo. Permite trazar una perspectiva funcional en cuanto a la relación temporal que existe entre las diferentes áreas del cerebro que participan en la elaboración de un determinado proceso mental.

**CASTIGO.** En fisiología psicológica (conducta) refiere a todo procedimiento por el cual una respuesta es seguida de un hecho aversivo (refuerzo negativo). En 1954, J. M.

Rodríguez Delgado y N. Miller demostraron por primera vez que un animal es capaz de apretar una palanca para evitar el estímulo eléctrico de ciertas áreas del cerebro relacionadas con la codificación de los mecanismos cerebrales del castigo.

**CÉLULAS GLIALES.** Células no neurales que se encuentran tanto en el sistema nervioso central como en el sistema nervioso periférico. En el sistema nervioso central de los vertebrados se encuentran en un número de 10 a 50 veces superior a las neuronas. Son células generalmente pequeñas, localizadas entre los cuerpos neuronales y entre los axones, y no generan señales eléctricas activas como las neuronas. En general se subdividen en dos grupos: la macrogliá (astrocitos, oligodendrocitos y células ependimarias) y la microgliá. En el sistema nervioso periférico, la glía la constituyen las células de Schwann.

**CEREBRO.** En la actualidad es un término no claramente definido y consensuado. En general refiere a toda aquella parte del SNC que está contenida en la caja craneana, excluido el tronco del encéfalo (mesencéfalo, puente y bulbo) y el cerebelo.

**CIRCUITO.** Sistema electrónico por el que fluye una corriente eléctrica. En neurofisiología se utilizan diferentes tipos de circuitos eléctricos para estímulo y registro de la actividad neuronal.

**CLONES.** Agregado de células procedente, por sucesivas divisiones, de una célula madre inicial que puede dar lugar a una serie de individuos homogéneos en lo que respecta a su estructura genética.

**CODIFICACIÓN.** En neurobiología, y en general, refiere al mensaje en forma de patrones de descarga y frecuencias de potenciales de acción con los que se transfiere información de unas áreas a otras del SNC. En neurofisiología sensorial refiere a la transformación por los receptores de un tipo de energía determinado (luz, sonido, mecánico) en frecuencia y patrón de descarga de las fibras nerviosas (mensaje codificado).

**CÓDIGO.** Serie de símbolos o reglas usados con significado específico y que conforman un sistema de comunicación.

**COGNITIVO, PROCESO.** Proceso mediante el cual se tiene conocimiento de un acontecimiento del mundo interno (personal) o externo (sensorial).

**CONDUCTA.** Cualquier suceso observable del organismo. Toda conducta es un puro acto motor desde la expresión verbal en el hombre a cualquier expresión física en el animal.

**CONEXIONES SINÁPTICAS.** En las sinapsis existen dos tipos básicos de conexiones: 1. Eléctricas (por propagación o movimiento de iones) y 2. Químicas (a través de un intermediario químico llamado neurotransmisor).

**CONSCIENCIA.** Estado de un animal o persona que le permite el desarrollo de una conducta de interacción con el mundo externo.

**CONVERGENCIA.** Hecho mediante el cual una neurona recibe terminales sinápticas de muchas otras neuronas que convergen en ella. Este concepto tiene múltiples acepciones (visión, zoología, evolución, etc.).

**CORTEZA CEREBRAL.** Capa neuronal de la superficie externa cerebral del hombre y

organismos superiores. En el hombre su superficie total es de unos 2.200 cm<sup>2</sup> y su espesor oscila entre 1,3 y 4,5 mm, con un volumen de 600 cm<sup>3</sup>. El tejido cerebral del hombre contiene unas  $3 \cdot 10^9$  neuronas. Típicamente se diferencian seis capas, que existen en más del 90% del total de la corteza. Estas capas, de superficie a profundidad, son las siguientes: capa molecular o plexiforme, piramidal externa, granular externa, piramidal interna, granular interna y fusiforme. Filogenéticamente esta estructura de seis capas aparece en los mamíferos y se denomina neocorteza o isocorteza. Más antigua filogenéticamente es la allocorteza, que posee una estructura de tres capas y al que pertenecen el archipallium, paleopallium y rinencéfalo.

**CORTEZA DE ASOCIACIÓN.** Áreas de la corteza cerebral no directamente relacionadas en el procesamiento de información primaria sensorial y motora. Son áreas polisensoriales y multifuncionales.

**CORTEZA FRONTAL.** Refiere a toda la corteza del lóbulo frontal, lo que incluye todo el polo anterior de los hemisferios cerebrales desde la cisura de Rolando.

**CORTEZA PREFRONTAL.** Corteza de asociación situada en la parte más rostral del lóbulo frontal. Su definición y límites neurofisiológicos vienen dados por las proyecciones del núcleo dorsomedial del tálamo. Se subdivide en diversas otras áreas: corteza prefrontal orbitaria y dorsal (en el primate) o medial dorsal y orbitaria (en la rata). Entre las muchas funciones en las que participa se encuentran el control del mundo emocional a través del sistema límbico, memoria operativa o funcional (*working memory*), programación de actos a realizar en un inmediato futuro y función inhibitoria de influencias tanto externas como internas.

**CORTEZA VISUAL NO ESTRIADA.** Corteza visual que por definición se encuentra fuera de la corteza visual primaria (V1) o estriada. Se corresponde principalmente con las áreas 18 y 19 de Brodmann. En ella se encuentran neuronas con múltiples y diferentes campos receptivos visuales.

**CORTEZA VISUAL PRIMARIA O ESTRIADA, V1.** Corteza visual que se corresponde con el área 17 de Brodmann y se caracteriza por las estriaciones visibles a simple vista que posee (línea de Gennari). Recibe aferencias directas del núcleo geniculado lateral. Contiene neuronas cuyos campos receptivos responden a barras de luz (diferentes orientaciones) o puntos de luz de diferentes longitudes de onda.

**CREATIVIDAD.** Acción o proceso de producir algo nuevo, diferente, original y útil y encajarlo en el contexto de una cultura determinada que dé sentido a lo creado. Es en su esencia un proceso individual e intrínseco al propio diseño del cerebro humano.

**CRONOBIOLÓGÍA.** Parte de la biología que estudia la cronología de los fenómenos biológicos, especialmente los repetitivos o rítmicos, basándose en que los mismos no son meras respuestas pasivas, sino verdaderas adaptaciones.

**DECODIFICACIÓN.** Refiere a los mecanismos neuronales de ciertas áreas del cerebro capaces de descifrar el código de mensajes enviados por el receptor ante un determinado estímulo.

**DIENCÉFALO.** Parte del prosencéfalo. Lo constituyen la habénula, epítáalamo, el tálamo, subtálamo y el hipotálamo.

**DISLEXIA.** Trastorno caracterizado por un nivel para la lectura inferior al que corresponde al nivel de edad o intelectual del individuo que lo padece y que no parece asociado a trastornos sensoriales ni a retraso mental. Hay distintos tipos: dislexia fonológica, dislexia semántica y dislexia visual.

**ELECTROCHOQUE.** Terapia electroconvulsiva que se usa en el tratamiento de algunas enfermedades mentales. Consiste en la inducción de una crisis convulsiva mediante el paso de una corriente eléctrica de bajo voltaje y duración corta a través del cerebro.

**ELECTROENCEFALOGRAMA, EEG.** Registro de las variaciones de potencial eléctrico entre dos electrodos (registro bipolar) o entre un electrodo y otro indiferente (registro monopolar) situados en el cuero cabelludo. La actividad registrada refleja esencialmente la actividad postsináptica de las neuronas de las capas más superficiales de la corteza.

**EMOCIÓN.** Reacción conductual y subjetiva producida por una información proveniente del mundo externo o interno (memoria) del individuo. Se acompaña de fenómenos neurovegetativos. El sistema límbico es parte importante del cerebro relacionado con la elaboración de las conductas emocionales.

**ENCEFALIZACIÓN.** Concepto que refiere a la evolución y elaboración de las partes superiores del encéfalo. Ello conlleva aumento de la complejidad del procesado de la información y del control comportamental. Este principio también se aplica a los invertebrados. En general, el concepto de encefalización refiere al aumento general del tamaño y la complejidad de las conexiones del encéfalo a medida que se asciende en la escala de los vertebrados. El cerebro y cerebelo son las estructuras que mayormente expresan este proceso. Este proceso de encefalización alcanza su mayor expresión en el hombre.

**ENVEJECIMIENTO.** Proceso deletéreo que acontece en todo ser vivo con el tiempo y que es expresión de la interacción entre el programa genético del individuo y su medio ambiente.

**ENVEJECIMIENTO CEREBRAL.** Proceso deletéreo complejo de este órgano producto de la interacción de factores genéticos, ambientales, hormonales y metabólicos. El proceso de envejecimiento afecta de modo distinto a las diferentes partes del cerebro.

**ESQUIZOFRENIA.** Grupo de enfermedades de etiología desconocida y aparición a diferentes edades, caracterizada psicopatológicamente por una desconexión con la realidad. Esto último se expresa en una desconexión entre pensamiento, sentimiento, acción y aparición de alucinaciones generalmente auditivas. El sustrato cerebral de estas enfermedades es desconocido.

**FUNCIONES CEREBRALES.** Concepto genérico. En particular refiere a las funciones adscritas a varias o a cada una de las partes en las que se ha podido subdividir anatómicamente el cerebro.

**GEN.** Unidad básica de la herencia. Corresponde a un segmento de la molécula de ADN. En bioquímica, el término gen es equivalente al de cistrón, que refiere, con más precisión, al segmento de la molécula de ADN que codifica para la formación de una cadena polipeptídica completa.

**GENOMA.** Conjunto completo del material genético (del ADN) de la célula. Es el número básico de cromosomas.

**GLÍA.** Término genérico para referirse a las células no neurales del sistema nervioso central.

**HABITUACIÓN.** Disminución progresiva de las respuestas reflejas cuando éstas son provocadas repetitivamente por estimulación. En la aplisia se ha podido correlacionar este fenómeno con la disminución de la eficacia sináptica entre las neuronas sensoriales y motoras.

**HIBERNACIÓN.** Reposo o sueño invernal. Situación de reducción considerable de la actividad metabólica, temperatura, consumo energético, funciones cardiorrespiratorias y unido a somnolencia por la que pasan algunos animales durante los meses invernales.

**HIBERNACIÓN ARTIFICIAL.** Estado que se provoca por la administración de fármacos bloqueantes del SN vegetativo, unidos o no a anestésicos, que asemeja a la hibernación. Esta técnica es utilizada a veces en las intervenciones quirúrgicas de larga duración.

**HIPOCAMPO.** Circunvolución situada en la región anteromedia del lóbulo temporal, que resulta de la internalización, en los mamíferos, de una corteza arcaica desarrollada en reptiles y mamíferos primitivos. Esta archicorteza se compone principalmente de dos estructuras: giro o fascia dentada y el cuerno de Ammon. Consta de tres capas (molecular, granular y polimorfa). Forma parte del sistema límbico. Estructura fundamental en el registro de diferentes tipos de memorias.

**HIPOTÁLAMO.** Estructura localizada por debajo del tálamo y por encima del quiasma óptico y de la silla turca que participa en la regulación de los sistemas neurovegetativo y endocrino. Forma parte fundamental de los circuitos de control neural de la ingesta de alimento, agua, sexualidad y temperatura. Se encuentra integrado por agrupaciones neuronales o núcleos. Clásicamente se distinguen el hipotálamo anterior o quiasmático, el hipotálamo medio o infundibular y el hipotálamo posterior o mamilar.

**HOMEOSTASIS.** Estado de reajuste constante de los parámetros fisiológicos frente a las perturbaciones del medio externo. Implica la existencia de un proceso de retroalimentación restauradora o reguladora, que mantiene constante el medio interno de un organismo, frente a los cambios del ambiente.

**HOMEOTERMO.** Término que designa a los animales de sangre caliente y que tienden a mantener una temperatura corporal constante.

**HOMÚNCULO DE PENFIELD.** Representación de la apariencia que tendría un ser humano si las diferentes partes del cuerpo estuvieran desarrolladas proporcionalmente a la superficie que ocupan en las áreas corticales sensoriales y/o motoras de la corteza cerebral. *Véase* Homúnculos motor y sensorial.

**HOMÚNCULO MOTOR.** Representación contralateral del cuerpo (área 4 de Brodmann) en la corteza frontal, giro precentral, en forma distorsionada. Esta representación refleja la mayor densidad de unidades motoras en los músculos estriados y mayor finura de

movimientos. La representación es medio-dorso-lateral y caudo-cefálica.

**HOMÚNCULO SENSORIAL.** Representación contralateral del cuerpo (en áreas 1, 2, 3a y 36 de Brodmann de la corteza parietal, giro poscentral) en forma distorsionada. Esta representación refleja la mayor concentración de receptores sensoriales en la periferia y mayor discriminación sensorial. La representación es medio-dorso-lateral y caudo-cefálica.

**IMPULSO CREATIVO.** Fuerza que asocia y empuja propiamente la creatividad y la capacidad que permite crear cosas nuevas. Precisa de dos componentes: cognición y emoción.

**MAGNETOENCEFALOGRAFÍA (MEG).** Procedimiento basado en el registro dinámico de los campos magnéticos débiles que se generan por los movimientos de cargas eléctricas cerebrales y que pueden ser registrados. Es un método complementario al EEG, que tiene la ventaja de que dichos campos magnéticos no son filtrados por el cráneo tan potenteamente como las ondas de los registros encefalográficos.

**MEMORIA.** Es la capacidad de evocar respuestas aprendidas previamente.

**MEMORIA, CONSOLIDACIÓN.** Es el proceso mediante el cual la memoria a corto plazo se convierte en memoria a largo plazo.

**MEMORIA A CORTO PLAZO.** Memoria que retiene temporalmente información (minutos-horas). Tipo de memoria previo a su transformación en memoria a largo plazo. La información de este tipo es accesible inmediatamente a la conciencia.

**MEMORIA A LARGO PLAZO.** Memoria duradera, en algunos casos de por vida.

**MEMORIA DE PROCEDIMIENTOS O IMPLÍCITA.** Tipo de memoria sensoriomotora que implica hábitos, conductas y habilidades como, por ejemplo, las de montar en bicicleta, jugar al golf o tocar el piano.

**MEMORIA DECLARATIVA.** Memoria que expresa experiencias pasadas con referencia a lugares (acontecimientos con referencias espaciotemporales).

**MEMORIA EPISÓDICA.** Parte de la memoria declarativa relacionada con sucesos pasados temporales y puntuales de la vida de la persona.

**MEMORIA ICÓNICA.** Memoria de lo muy cercano, dura menos de un segundo, de gran precisión y rápido decaimiento.

**MENSAJE.** Conjunto de señales (código) que transmiten una información.

**MENTE.** Es un concepto impreciso que refiere al conjunto de atributos de la persona durante la experiencia consciente, como pensar, sentir y la misma conciencia del yo.

**MOTIVACIÓN.** En psicología fisiológica se dice de aquellos estados que llevan a una conducta voluntaria conducente a obtener un determinado fin. La ingesta de agua, comida, satisfacción sexual y regulación conductual de la temperatura se dice que son conductas motivadas, puestas en marcha por «motivos» o *drives*.

**NEUROCIENCIA.** Disciplina que estudia el desarrollo, estructura, función, farmacología y patología del sistema nervioso.

**NEUROGÉNESIS.** Proceso de generación de las células nerviosas, por medio de la secuencia desde las células germinales a neuroblastos y de ahí a células nerviosas completas. Formación del sistema nervioso.

**NEUROLÉPTICO.** Término general que define un grupo de compuestos químicos o fármacos antipsicóticos modificadores del comportamiento. Su acción se debe fundamentalmente a su capacidad para bloquear los receptores dopaminérgicos.

**NEURONA.** Término que refiere a la célula nerviosa completa, lo que incluye el cuerpo celular y sus prolongaciones (dendritas y axón). Es la unidad morfológica básica del sistema nervioso.

**NEUROPSICOLOGÍA.** Disciplina que estudia los procesos psicológicos a partir de y en correlación con los procesos neuroanatómicos, neuroquímicos y neurofisiológicos del cerebro. En la práctica, esta disciplina se ocupa del estudio psicológico (déficits) de las personas con daño cerebral de diverso origen (traumático, posquirúrgico, etc.).

**NEUROPSQUIATRÍA.** Especialidad médica que estudia los trastornos mentales basándose en y en correlación con el daño cerebral, que puede ser de diverso origen.

**NEUROTRANSMISOR.** Sustancia endógena que se encuentra almacenada en la terminal axónica (sinaptosoma) de una neurona, capaz de ser liberada por potenciales de acción y alterar la polaridad de la neurona con la que está en inmediato contacto. El neurotransmisor es sintetizado por la terminal presináptica, cuerpo neuronal o ambos y degradado o recaptado inmediatamente tras su liberación.

**ONTOGENIA.** Formación y desarrollo individual de un organismo, independientemente de su filogenia.

**PENSAMIENTO.** Potencia o facultad de imaginar, considerar o discurrir. Uso de programas lógicos para responder cuestiones sobre la información que llega desde los órganos de los sentidos o desde fuentes internas.

**PENSAMIENTO, TRASTORNOS DEL.** Concepto utilizado en psiquiatría y bajo el cual se describen las anormalidades del pensamiento que se dan principalmente en la esquizofrenia, la psicosis maníaco-depresiva y las psicosis orgánicas.

**PERCEPCIÓN.** Proceso mediante el cual se toma conciencia del mundo exterior. En este proceso hay una parte objetiva y otra subjetiva. El estudio de la relación entre ambas constituye el campo de la psicofísica.

**PERCEPCIÓN CONSCIENTE.** Sensación que se acompaña de una interpretación sobre la base de experiencias previas.

**PERÍODO CRÍTICO.** Concepto general que refiere a un momento del desarrollo importante y a veces irreversible para una determinada función normal.

**PET.** Abreviatura anglosajona para *Positron Emission Tomography* (tomografía por emisión de positrones).

**PLASTICIDAD.** Cambios producidos en el sistema nervioso como resultado de la experiencia (aprendizaje), lesiones o procesos degenerativos. La plasticidad se expresa como modificación de las sinapsis, proliferación dendrítica o axonal y cambios en las densidades o dinámica de los canales iónicos.

**PLASTICIDAD NEURONAL.** Es el fenómeno de «recuperación funcional neuronal» consistente en cambios proliferativos en el árbol dendrítico y axonal, tras una lesión o proceso degenerativo.

**PLASTICIDAD SINÁPTICA.** Aumento o disminución de la cantidad de sinapsis, fuera del

programa genético, dependiendo de la eficiencia funcional y activaciones que tengan.

**POIQUIOTERMIA.** Capacidad de ciertos animales y vegetales para variar su temperatura de acuerdo con los cambios de la temperatura ambiente. Son los llamados animales de sangre fría (peces, anfibios y reptiles).

**POTENCIACIÓN A LARGO PLAZO.** Concepto que refiere al aumento y facilitación de larga duración de la transmisión sináptica producida tras una estimulación breve pero de alta frecuencia. Descrita en el hipocampo y otras estructuras cerebrales con alta concentración de receptores NMDA. Actualmente se le considera una posible base neurobiológica de la memoria.

**PROSOPAGNOSIA.** Pérdida de la capacidad para el reconocimiento visual de caras previamente conocidas de las personas, de animales, vehículos, etc.

**PSICOLOGÍA COGNITIVA.** Disciplina dedicada al estudio del conocimiento humano, sus componentes, sus orígenes y su desarrollo (percepción, memoria, aprendizaje, lenguaje, etc.) tras postular un sistema de estados internos (programas) controlados por un sistema de procedimientos computacionales. El objetivo final es lograr un conocimiento global de la organización funcional del cerebro humano.

**RECOMPENSA.** Es todo elemento o estímulo que asociado a una conducta determinada hace que ésta aumente la probabilidad de que se repita. La recompensa es el refuerzo positivo de la conducta.

**REFLEJO.** Acto motor más simple como respuesta a un determinado estímulo. Todo reflejo consta de cinco elementos: 1. Receptor, 2. Neurona aferente (sensorial), 3. Procesamiento central, 4. Neurona eferente (motora) y 5. Efecto (músculo).

**REFUERZO.** Programa o procedimiento por el que una respuesta es seguida de una recompensa o un castigo, en este caso altera la probabilidad de que tal respuesta vuelva a repetirse. El agua o alimento son refuerzos positivos (aumento), y el shock eléctrico, negativo (disminución).

**REGISTRO UNITARIO.** Registro de la actividad eléctrica de una sola neurona realizado por medio de microelectrodos de vidrio o metálicos (tungsteno). El registro puede obtenerse intra o extracelularmente.

**RELOJ BIOLÓGICO.** Véase Ritmos biológicos.

**REM.** Abreviatura anglosajona (*Rapid Eye Movements*) utilizada para el sueño paradójico.

**RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR.** Método no invasivo utilizado tanto experimentalmente en animales como en clínica humana y que permite el diagnóstico de procesos cerebrales anormales. Se basa en la capacidad de ciertos átomos como el hidrógeno y el fósforo para comportarse como magnetos. Ante un campo magnético poderoso externo estos magnetos nucleares pueden orientarse conformando una determinada línea de fuerza. La liberación posterior de estas fuerzas conlleva liberación de energía, y ésta puede ser detectada y utilizada para reconstruir una imagen del cerebro o áreas del cerebro.

**RITMO.** Orden alternado de dos estados diferentes. Puede referirse a la aparición regular de variaciones eléctricas en el registro electroencefalográfico.

**RITMO CIRCADIANO.** Ciclo o ritmo biológico que se aproxima a las 24 horas, como el ciclo normal del sueño-vigilia en el adulto humano. Se consideran ritmos circadianos los que oscilan entre las 20 y las 28 horas, por ejemplo, el ritmo vigilia-sueño, el de la temperatura corporal, cambios electrolíticos, hormonales, etc.

**RITMO INFRADIANO.** Variaciones biológicas rítmicas que tienen un ciclo superior a las 28 horas. Son ejemplo de estos ritmos el ciclo menstrual y las variaciones estacionales.

**RITMO ULTRADIANO.** Variaciones biológicas rítmicas que se producen en ciclos inferiores a 6 horas y superiores a 30 minutos. Son un ejemplo de estos ritmos la frecuencia respiratoria y la cardiaca.

**RITMOS BIOLÓGICOS.** Recurrencia de fenómenos dentro de un sistema biológico con intervalos regulares. Suponen las adaptaciones hereditarias de los seres vivos frente al medio externo cambiante y una vez establecidos son generados por el propio organismo, independientemente de los sincronizadores o factores externos.

**RITMOS BIOLÓGICOS DE FRECUENCIA ALTA.** Ritmos con una periodicidad desde 0,5 segundos hasta 30 minutos (respiración, ritmo cardíaco, actividad neuronal).

**RITMOS BIOLÓGICOS DE FRECUENCIA BAJA.** Ritmos que se suceden con una periodicidad entre 6 días y hasta varios años (ritmos circalunares, estacionales, anuales).

**RITMOS BIOLÓGICOS DE FRECUENCIA MEDIA.** Ritmos con una periodicidad entre los 30 minutos y los 6 días (ritmos ultradianos, circadianos e infradianos).

**SENSACIÓN.** Percepción consciente de un estímulo físico o químico con sus características de espacialidad, temporalidad, modalidad e intensidad.

**SENTIDO.** Facultad de un organismo vivo para percibir un estímulo.

**SENTIDOS ESPECIALES.** Término que refiere a los cinco sentidos relacionados con la vista, el oído, el olfato, el gusto y el tacto.

**SINAPSIS.** Término acuñado por Charles Sherrington para significar la unión o contacto entre dos neuronas. Pueden ser eléctricas y químicas. En la sinapsis se han de considerar tres partes: la presinapsis, el espacio sináptico y la postsinapsis. En las sinapsis químicas, la señal interneuronal es transmitida por una sustancia química liberada por la terminal presináptica. Ésta interactúa con receptores específicos localizados en la terminal postsináptica. El número de sinapsis de cada neurona varía ampliamente, pero suele ser grande, aproximadamente una neurona motora de un mamífero tiene unas 5.000 sinapsis. Una simple célula de Purkinje de la corteza cerebelar tiene unas 90.000 sinapsis.

**SISTEMA DISTRIBUTIVO O DISTRIBUIDO.** Hipótesis global del funcionamiento de la corteza cerebral según la cual una determinada función no es propiedad de un sustrato anatómico localizado en la misma, sino una propiedad de la actividad dinámica en el sistema. Este sistema consiste en múltiples conexiones entre subunidades columnares de la corteza cerebral multiubicadas a lo largo de la misma. Constituyen el nivel más alto de la integración-convergencia-divergencia entre distintas regiones del SNC. Son características de las funciones superiores de los sistemas motor y sensorial, y de muchos sistemas centrales.

**SISTEMA LÍMBICO.** Concepto genérico de delimitaciones anatómicas y funcionales

imprecisas. Refiere a aquel conjunto de áreas cerebrales a las que se les supone formando circuitos que codifican el mundo personal de la emoción (placer, rabia, agresividad, etc.) y la motivación (ingesta de agua y alimentos, actividad sexual, etc.). Éstas incluyen: giro del cíngulo, giro parahipocámpico, hipocampo, amígdala, séptum, núcleo accumbens, hipotálamo y corteza orbitofrontal).

**SISTEMA NERVIOSO.** Aparato nervioso formado por una parte central (cerebro, tronco del encéfalo, cerebelo y médula espinal) y otra periférica (nervios craneales y espinales, ganglios autónomos y plexos).

**SUEÑO.** Es un proceso rítmico activo, normalmente recurrente, con un ciclo de 24 horas. *Véase* Regiones cerebrales del sueño.

**SUEÑO, DURACIÓN.** Cada ciclo de sueño dura aproximadamente 90 minutos, y se producen un total de 4 a 7 ciclos, siendo algo más largos los primeros que los últimos. Con la edad disminuye el número de horas de sueño (de 7,5 horas en el adulto a 6 horas en el anciano) y también disminuye la duración de los periodos REM.

**SUEÑO, ESTADIOS.** Cada ciclo de sueño pasa por cinco estadios en función del tipo de actividad cerebral que representa el EEC. Durante los estadios 1 al 4 (sueño de ondas lentas) se va produciendo una disminución progresiva de la actividad de ondas cerebrales, pasando desde un ritmo alfa hasta un ritmo delta. Los estadios 1 y 2 ocupan el 50% del tiempo, y los estadios 3 y 4, un 25%. El 5.<sup>o</sup> estadio es el del sueño paradójico o REM, y ocupa el restante 25%.

**SUEÑO DE ONDAS LENTAS.** Sueño profundo caracterizado por un EEG progresivamente de menor frecuencia y mayor amplitud. Predominio de actividad parasimpática.

**SUEÑO REM.** Sueño paradójico en el que se producen movimientos oculares rápidos (de ahí su nombre: *Rapid Eye Movements*). Se asocia con periodos de desincronización del EEG y presenta en general bajo voltaje y rápida frecuencia, similar a la que se registra en el estado de vigilia. Hipotonía muscular y activación del sistema nervioso simpático. En este periodo se presentan más frecuentemente las ensoñaciones. Es el 5.<sup>o</sup> estadio del sueño.

**TÁLAMO.** Estructura subcortical diencefálica, que puede subdividirse en tres partes: epítálogo, tálamo ventral y tálamo dorsal. El epítálogo, situado en el piso del diencéfalo, está constituido por la habénula y su comisura, la glándula pineal y la comisura posterior (está relacionado con el sistema límbico). Las funciones y conexiones del tálamo ventral son poco conocidas. El tálamo dorsal, por el contrario, es la gran masa talámica en la que recala toda la información que asciende a la corteza en forma general difusa o específica. También recibe aferencias corticales. Los núcleos pueden clasificarse en núcleos de proyección no específicos (aquellos que proyectan a toda la corteza cerebral), núcleos de proyección cortical específicos o núcleos de relevo sensorial específicos (aquellos que proyectan a las áreas específicas de la corteza cerebral) y núcleos específicos de asociación (aquellos que proyectan a áreas corticales de asociación).

**TELOMERASA.** Enzima formada por una subunidad de transcriptasa inversa y un segmento de ARN (AUCCCC) capaz de preservar la longitud de los telómeros al

compensar la pérdida de ADN que se produce en los mismos durante la división celular. Se encuentra presente en las células sexuales y cancerosas.

**TELÓMEROS.** Extremos de los cromosomas formados por una corta secuencia de ADN (de seis nucleótidos, TTAGGG) asociados a proteínas específicas y repetidos miles de veces.

**TERMORREGULACIÓN.** Control homeostático de la temperatura corporal.

**TOMOGRAFÍA.** Procedimiento estatigráfico de obtención de imágenes por planos seleccionados.

**TOMOGRAFÍA POR EMISIÓN DE POSITRONES, PET.** Imagen tomográfica que utiliza radioisótopos de átomos que emiten positrones. La colisión de estos positrones con los electrones de carga negativa produce emisión de rayos gamma cuyo rastreo mide y analiza un sistema computarizado.

**TRANSMISIÓN SINÁPTICA (concepto).** Refiere al proceso mediante el cual la información de una neurona es transmitida a otra neurona a través de la sinapsis. En las sinapsis químicas, este proceso conlleva: 1. Despolarización de la terminal presináptica y entrada del ion Ca en la misma, 2. Exocitosis y liberación del neurotransmisor, 3. Interacción neurotransmisor-receptor en la terminal postsináptica, 4. Inactivación del neurotransmisor, 5. Activación de los mecanismos iónicos y moleculares conducentes a la despolarización o hiperpolarización de la terminal postsináptica.

**VISIÓN CIEGA.** Fenómeno neuropsicológico en el que el paciente tiene visión pero no es consciente de ello. Su comportamiento es el de ceguera total. Está producido principalmente por lesiones del área visual V1 (estriada).

**VISIÓN DE LOS colores.** Los objetos absorben las ondas electromagnéticas. El color observado es la frecuencia de onda electromagnética reflejada en el objeto y no absorbida por el mismo.

## BIBLIOGRAFÍA

Esta bibliografía es una recopilación de las principales lecturas que amparan los temas y datos discutidos en el libro y que pueden servir de posterior ayuda al lector. Algunas referencias, muy concretas, han sido citadas en el texto.

- ADOLPHS, R.; TRANEL, D.; DAMASIO, H. y DAMASIO, A. (1994): «Impaired recognition of emotion in facial expressions following bilateral damage to the human amygdala», *Nature* 372, 669-672.
- AGNATI, L. F.; AGNATI, A.; MORA, F. y FUXE, K. (2007): «Does the human brain have unique genetically determined networks coding logical and ethical principles and aesthetics? From Plato to novel mirror networks», *Brain Res. Rev.* 55, 68-77.
- ALLISON, T. y CICCHETTI, D. V. (1976): «Sleep in mammals: ecological and constitutional correlates», *Science* 194, 732-734.
- ANDREASEN, N. C. (1997): «Linking Mind and Brain in the Study of Mental Illnesses: A project for a scientific psychopathology», *Science* 275, 1586-1593.
- (1999): «Understanding the causes of schizophrenia», *N. Engl. J. Md.* 340, 645-667.
- ANSBURG, P. L. y HILL, K. (2003): «Creative and analytic thinkers differ in their use of attentional resources», *Personality and Individual Differences* 34, 1141-1152.
- ARMONY, J. L. y LE DOUX, J. E. (2000): «How danger is encoded: Toward a systems, cellular and computational understanding of cognitive-emotional interactions in fear», en *The new cognitive neurosciences*, M. S. Gazzaniga (ed.), MIT Press, Cambridge, MA.
- ARROW, H. (2007): «The sharp end of altruism», *Science* 318, 581-582.
- BAARS, B. J. (2003): «How brain reveals mind: Neural studies support the fundamental role of conscious experience», *Journal Consciousness Studies* 10, 100-114.
- BALTER, M. (2007): «Brain evolution studies go micro», *Science* 315, 1208-1211.
- BEEMAN, M. (1993): «Semantic processing in the right hemisphere may contribute to drawing interferences from discourse», *Brain Lang* 44, 80-120.
- BINDER, L. y BIDDER, G. P. (1932): «Senescence», *Br. Med. J.* ii, 5831-5850.
- BLACKMORE, S. (1999): *The meme machine*, Oxford University Press, Oxford.
- BLAKEMORE, C. (1977): *Mechanics of the Mind*, Cambridge University Press.
- BLISS, T. (1998): «The Physiological Basis of Memory», en *From Brains to Consciousness*, S. Rose (ed.), Princeton University Press, Princeton, Nueva York.
- ; TENG, E. y SQUIRE, L. R. (1999): «Memory for places learned long ago is intact after hippocampal damage», *Nature* 400, 675-677.
- BODEN, M. A. (1994): *Dimensions of Creativity*, MIT Press, Cambridge.

- BODNAR, A.; OULLETTE, M.; FROLKIS, M.; HOLT, S. E.; CHIN, C.-P.; MORIN, G. B.; HARLEY, C. B.; SHAY, J. W.; LICHTSTEINER, S. y WRIGHT, W. E. (1998): «Extension of life span by introduction of telomerase into normal human cells», *Science* 279, 349-352.
- BOHM, D. y NICHOL, I. (1998): *On creativity*, Routledge, Londres, Nueva York.
- BOTVINICK, M. (2004): «Probing the Neural Basis of Body Ownership», *Science* 305, 782-783.
- BOWDEN, E. M.; JUBG-BEEMAN, M.; FLECK, J. y KOUNIOS, J. (2005): «New approaches to demystifying insight», *Trends in Cognitive Science* 9, 322-328.
- BOWDEN, E. M. y JUNG-BEEMAN, M. (2003): «Aha! Insight experience correlates with solution activation in the right hemisphere», *Psychon. Bull Rev.* 10, 730-737.
- BRAAK, H. y BRAAK, E. (1986): «Ratio pyramidal cells versus non-pyramidal cells in the human frontal isocortex and changes in ratio with ageing and Alzheimer's disease», en *Aging of the Brain and Alzheimer disease*, D. F. Swaab *et al.* (eds.), Elsevier, Ámsterdam, 185-212.
- BREITER, H. C.; ETCOFF, N. L.; WHALEY, P. J.; KENNEDY, W. A. y RAUCH, S. L. (1996): «Response and habituation of the human amygdala during visual processing of facial expression», *Neuron* 17, 875-887.
- BROCA, P. (1861): «Perte de la parole, ramollissement chronique et destruction partielle du lobe antérieur gauche du cerveau», *Bulletin de la Société Anthropolistique Paris* 2, 235.
- BRODMAN, K. (1903): «Beiträge zur histologischen Lokalisation der Grosshirnrinde Imitteilung: Die Regio Rolandica», *J. Für Psychologie und Neurologie* 2, 79-107.
- BRODY, H. y VIJAYASHANKAR, N. (1977): «Cell loss with aging», en K. Nandy y J. Sherwin (eds.), *The Aging Brain and Senile Dementia*, Plenum Press, Nueva York, 15-21.
- BRODY, H. (1955): «Organization of the cerebral cortex III. A study of aging in the human cerebral cortex», *J. Comp. Neurol.* 102, 511-556.
- BROWNE, H. (1973): *How I found freedom in an unfree world*, McMillan, Nueva York.
- CABANAC, M. (1971): «Physiological role of pleasure», *Science* 173, 1103-1107.
- CAMERON, H. A. y MACKAY, R. D. G. (1999): «Restoring production of hippocampal neurons in old age», *Nature Neurosci.* 2, 894-897.
- CELA CONDE, C. J. y AYALA, F. J. (2001): *Senderos de la evolución humana*, Alianza Editorial, Madrid.
- CERLETTI, U. (1956): «Electroshock therapy», en F. Martí-Ibáñez, A. M. Sackler y M. D. Sackler (eds.), *The Great Psychodynamic Therapies in Psychiatry*, Hoeber-Harper, Nueva York.
- CHOMSKY, N. (1965): *Aspects of the theory of syntax*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- (1968): *Language and the Mind*, Harcourt, Nueva York.
- CHRISTOFF, K.; PRABHAKARAN, V.; DORFMAN, J. y KROGER, J. K. (2001): «Rostrolateral prefrontal cortex involvement in relation integration during reasoning», *NeuroImage*

- 14, 1136-1149.
- CHRISTOFF, K.; REAM, J. M. y GABRIELI, J. D. E. (2004): «Neural basis of spontaneous thought processes», *Cortex* 40, 623-630.
- CHURCHLAND, P. M. (1995): *The Engine of Reason, the Seat of the Soul*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- (2000): «Neurosemántica: Sobre mapas mentales y la representación de los mundos», en *Nuevos Desafíos del conocimiento*, F. Mora y J. M. Segovia de Arana (eds.), Fundación BSCH-Editiones Nobel, Oviedo.
- CHURCHLAND, P. S. (1982): «Mind-Brain Reduction: New Light from the Philosophy of Science», *Neuroscience* 7, 1041-1047.
- (1990): *Neurophylosophy. Toward a unified science of the mind/brain*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- y SEJNOWSKI, T. J. (1992): *The computational brain*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- CICERÓN, Marco Tulio (2001): *De Senectute*, Triacastela, Madrid.
- COLEMAN, P. D. y FLOOD, D. G. (1987): «Neuron numbers and dendritic extent in normal aging and Alzheimer disease», *Neurobiol. Aging* 8, 521-545.
- CONLAN, R. (ed.) (1999): *States of Mind*, John Wiley and Sons, Nueva York.
- COWAN, W. M.; HARTER, D. H. y KANDEL, E. R. (2000): «The emergence of modern Neuroscience: Some implications for Neurology and Psychiatry», *Annu. Rev. Neurosci.* 23, 343-391.
- CRICK, F. (1994): *The Astonishing Hypothesis: The Scientific Search for the Soul*, Scribner's and Sons.
- y MITCHINSON, G. (1983): «The function of dream sleep», *Nature* 304, 111-114.
- CSIKSZENTMIHALYI, M. (1996): *Creativity: Flow and Psychology of Discovery and Invention*, Harper Collins, Nueva York.
- CUTLER, R. G. (1975): «Evolution of human longevity and the genetic complexity governing aging rate», *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 72, 4664-4668.
- DAMASIO, A. R. (1985): «Knowledge without awareness: an autonomic index of facial recognition by prosopagnosics», *Science* 228, 1453-1454.
- (ed.) (1990): «The Neurobiology of the Mind», *Seminars in Neurosciences* 2 (4), 245 (1990).
- (1994): *Descarte's Error*, Picador, Putnam, Londres.
- (1998): «Emotion in the perspective of an integrated nervous system», *Brain res. Rev.* 26, 83-86.
- (1999): *The feeling of what happens*, William Heinemann, Londres.
- DAMASIO, H.; GRABOWSKI, T.; FRANK, R.; GALABURDA, A. M. y DAMASIO, A. R. (1994): «The Return of Phineas Gage: Clues About the Brain from the Skull of a Famous Patient», *Science* 264, 1102-1105.
- DANI, S. U.; HORI, A. y WALTER, G. F. (1997): *Principles of Neural Aging*, Elsevier, Ámsterdam.
- DARWIN, Ch. (2005): *The Darwin Compendium*, Barner & Noble Books Pub.

- DAWKINS, R. (1976): *The selfish gene*, Oxford University Press, Oxford.
- DELGADO, J. M. R. (1973): *Control físico de la mente*, Espasa Calpe, Madrid.
- (1975): «New orientations in brain stimulation in man», en *Brain-Stimulation Reward*, A. Wauquier y E. T. Rolls (eds.), North-Holland Publ. Co.
- DOBZHANSKY, T. (1970): *Genetics of the Evolutionary Process*, Columbia University Press, Nueva York.
- (1973): «Nothing in biology makes sense except in the light of evolution», *American Biology Teacher* 35, 125-129.
- DUMAN, R. S.; MALBERG, J. y NAKAGAWA, S. (2001): «Regulation of adult neurogenesis by psychotropic drugs and stress», *The Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics* 299, 401-407.
- ECCLES, J. C. (1973): *The Understanding of the brain*, McGraw Hill Book Co., Nueva York.
- EDELMAN, G. M. y MOUNTCASTLE, V. B. (1978): *The mindful brain. Cortical organization and group-selective theory of higher brain function*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- EDELMAN, G. M. (mayo 1999): «Displacing Metaphysics: Consciousness research and the future of neuroscience», XXXI Lección conmemorativa Jiménez Díaz, Madrid.
- y TONONI, G. (2000): *A universe of consciousness. How matter becomes imagination*, Basic Books, Nueva York.
- EDITORIAL (1998): «Does Neuroscience threaten Human Values?», *Nature Neuroscience* 1, 535-536.
- (2001): «From CAM Kinase to cognition», *Nature Neuroscience* 4, 669.
- (2001): «Diversidad humana. The human genome. What next?», *Nature Neuroscience* 4, 217.
- ELBERT, T.; PANTEV, C.; WIENBRUCH, C.; ROCKSTROH, B. y TAUB, E. (1995): «Increased cortical representation of the fingers of the left hand in String Players», *Science* 270, 305-307.
- ELLIS, H. D. (1998): «Cognitive neuropsychiatry and delusional misidentification syndromes: an exemplary vindication of the new disciplines», *Cogn. Neuropsychiatry* 3, 81-90.
- ELLIS, H. D.; YOUNG, A. W.; QUAYLE, A. H. y PAUW, K. W. (1997): «Reduced autonomic responses to faces in Capgras delusion», *Proc. R. Soc. Lond. B* 264, 1085-1092.
- ENGEL, A. K. y SINGER, V. (2001): «Temporal blinding and the neural correlates of sensory awareness», *Trends Cognit. Sci.* 5, 16-25.
- ERIKSSON, P. S.; PERFILIEVA, E.; BJORK-ERIKSSON, R.; ALBORN, A. M.; NORDBORG, C.; PETERSON, D. A. y GAGE, F. M. (1998): «Neurogenesis in the adult human hippocampus», *Nature Med.* 4, 1313-1317.
- FIMURA, D. (1967): «Functional asymmetry of the brain in dichotic listening», *Cortex* 3, 163-178.
- FINCH, C. E. (1990): *Longevity, Senescence and the Genome*, Chicago University Press,

- Chicago.
- y KIRKWOOD, T. B. L. (2000): *Chance, Development and Aging*, Oxford University Press, Oxford.
  - FOIRE, S. M. y SCHOOLER, J. W. (1998): «Right hemisphere contributions to creative problem solving. Converging evidence for divergent thinking», en M. Beeman y C. Chiarello (eds.), *Right hemisphere language comprehension: Perspectives from cognitive neuroscience*, Mahwah (NJ), Lawrence Erlbaum Associates.
  - FOUCHER, J. R.; OTZENBERGER, H. y GOUNOT, D. (2003): «The BOLD response and the gamma oscillations respond differently than evoked potentials: An interleaved EEG-fMRI study», *BMC Neurosci.* 4: 22.
  - FREEDMAN, D. J.; RIESENHUBER, M.; POGGIO, T. y MILLER, E. K. (2001): «Categorical Representation of Visual Stimuli in the Primate Prefrontal Cortex», *Science* 291, 312-316.
  - FREUD, S. (1967): *Interpretación de los Sueños*, Obras completas, vol. I, Biblioteca Nueva, Madrid.
  - (2011): *La interpretación de los sueños*, 2 vols., Biblioteca de autor, Alianza Editorial, Madrid.
  - FUSTER, J. (1998): «La Memoria», en F. Mora y J. M. Segovia de Arana (eds.), *Desafíos del conocimiento ante el Tercer Milenio*, Fundación BSCH-Ediciones Nobel, Oviedo.
  - GAGE, F. H. (2000): «Mammalian Neural Stem Cells», *Science* 287, 1433-1438.
  - GARCÍA BELLIDO, A. (1994): «How organisms are put together», *Europ. Rev.* 2, 15-21.
  - GAZZANIGA, M. S. (ed.) (2000): *The new Cognitive Neurosciences*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
  - Geriatría XXI* (2000): Edimsa, Editores Médicos, Madrid.
  - GESCHWIND, N. (1979): «Specializations of the Human Brain», *Scientific Am.* 24 (3), 180-199.
  - (1970): «The organization of language and the brain», *Science* 170, 940-944.
  - GHEZ, C. (1991): «Voluntary movement», en E. R. Kandel, J. H. Schwartz y T. M. Jessell (eds.), *Principles of Neural Science*, 3.<sup>a</sup> ed., Appleton and Lange, 609-625.
  - GILHOLLY, K. J. y MURPHY, P. (2005): «Differentiating insight from non-insight problems», *Thinking and Reasoning* 11, 279-302.
  - GIRAUT, P.; SIRIGU, A.; SCHNEIDER, F. y DUBERNARD, J. M. (2001): «Cortical reorganization in motor cortex after graft of both hands», *Nature Neuroscience* 4, 691-692.
  - GISOLFI, C. V. y MORA, F. (2000): *The Hot Brain*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
  - GOLDMAN-RAKIC, P. S. (1994): «Working memory dysfunction in schizophrenia», *J. Neuropsychiatry Clin. Neurosci.* 6, 348-357.
  - GOLGI, C. (1886): *Sulla fina Anatomia degli Organi Centrali del Sistema Nervoso*, Pavía.
  - GOSWAMI, U. (2006): «Neuroscience and Education: from research to practice?», *Nature Reviews Neuroscience* 7, 406-413.

- GOTTERMAN, I. I. y BETELSEN, A. (1989): «Confirming unexpressed genotypes for Schizophrenia», *Arch. Gen. Psychiatry* 46, 867-872.
- GOULD, E. (2001): «Neurogenesis in the adult is involved in the formation of trace memories», *Nature* 410, 372-376.
- GOULD, E.; BEYLIN, A.; TANAPAT, P.; REEVES, A. y SHORS, R. J. (1999): «Learning enhances adult neurogenesis in the hippocampal formation», *Nature Neuroscience* 2, 260-265.
- ; REEVES, A. J.; GRAZIANO, M. S. A. y GROSS, C. G. (1999): «Neurogenesis in the neocortex of adult primates», *Science* 286, 548-552.
- GORAS, P. (1991): «Color Vision», en E. R. Kandel, J. H. Schwartz y T. M. Jessell (eds.), *Principles of Neural Science*, 3.<sup>a</sup> ed., Appleton and Lange.
- GOVIND, C. V. (1995): *Biology of the lobster Homarus americanus*, Factor, J. R. (ed.), Academic Press, San Diego, California, 291-312.
- GRAY, C. M. y SINGER, W. (1989): «Stimulus-specific neuronal oscillations in orientation columns of cat visual cortex», *Proc. Natl. Acad. Sci., USA* 86, 1698-1702.
- GRIFFIN, L. D. (1994): «The intrinsic geometry of the cerebral cortex», *J. Theor. Biol.* 166, 261-273.
- GROSS, C. G. (2001): «Coding for visual categories in the human brain», *Nature Neuroscience* 3, 855-856.
- HAIST, F.; GORE, J. B. y MAO, H. (2001): «Consolidation of human memory over decades revealed by functional magnetic resonance imaging», *Nature Neuroscience* 4, 1139-1145.
- HALLIGAN, P. W. y DAVID, A. S. (2001): «Cognitive neuropsychiatry: towards a scientific psychopathology», *Nature Neuroscience* 2, 209-215.
- HARRIS, K. M. (1999): «Structure, development, and plasticity of dendritic spines», *Cur. Op. Neurobiol.* 9, 343-348.
- HASTING, N. B. y GOULD, E. (1999): «Rapid extension of axons into the CA3 region by adult-generated granule cells», *J. Comp. Neurol.* 413, 146-154.
- HAYFLICK, L. (2000): «The future of aging», *Nature* 408, 267-269.
- HAYNES, J.-D. y REES, G. (2006): «Decoding mental states from brain activity in humans», *Nature Rev. Neurosci.* 7, 523-534.
- HOLMES, E. (1878): *The Life of Mozart. Including his correspondence*, Chapman Hall, Londres.
- HEBB, D. (1949): *The organization of behavior*, John Wiley and Sons, Nueva York.
- HERRON, P. y JOHNSON, J. I. (1987): «Organization of intracortical and commissural connections in somatosensory cortical áreas I and II in the racoon», *J. Comp. Neurol.* 257, 359-371.
- HOBSON, J. A. (1999): «Order from Caos», en *States of Mind*, Roberta Conlan (ed.), John Wiley and Sons, Nueva York.
- HORGAN, J. (julio de 1994): «Can Science explain Consciousness?», *Scientific Am.*, 88-94.
- HUBEL, D. H. (1987): «Eye, Brain and Vision», *Scientific American Library*, PHPLP,

- Nueva York.
- HUTTENLOCHER, P. R. y DABHOLKAR, A. S. (1997): «Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex», *J. Comp. Neurol.* 387, 167-178.
- HUXLEY, A. (1985): *Un mundo feliz*, Editores Mexicanos Unidos.
- Investigación y Ciencia* (1995): «El lenguaje humano», tema 5.
- JACOB, F. (1997): *La souris, la mouche et l'homme*, Odile, París.
- JACOBS, B. L. y PRAAG, H. V. (2000): «Gage Adult brain neurogenesis and psychiatry: a novel theory of depression», *Molecular Psychiatry* 5, 262-269.
- JAMES, W. (1984): «What is an emotion?», *Mind* 9, 188-205.
- JAMISON, R. K. (2000): «Creatividad y psicosis maniacodepresiva», en *Trastornos mentales, Investigación y Ciencia*, Prensa Científica, Barcelona.
- JASPERS, K. (1961): *Genio y locura. Ensayo de análisis patográfico comparativo sobre Strindberg, Van Gogh, Swedenborg y Holderlin*, Aguilar, Madrid.
- (1963): *Nietzsche*, Editorial Sudamericana, Buenos Aires.
- JUNG-BEEMAN, M.; BOWDEN, E. M.; HABERMAN, J.; FRYMIARE, J. L.; ARAMBURO-LIU, S.; GREENBLAT, R.; REBER, P. J. y KOUNIOS, J. (2004): «Neural activity when people solve verbal problems with insight», *PLoS Biology* 2, 0500-0510.
- KAGAWA, Y. (1978): «Impact of westernization on the nutrients of Japanese: changes in physique, cancer, longevity and centenarians», *Prev. Med.* 7, 205-227.
- KAMPERMANN, G. y GAGE, F. H. (1999): «Regeneración de las células nerviosas», *Investigación y Ciencia*, julio.
- KANDEL, E. R. (2007): *En busca de la memoria*, Katz Editores.
- KANDEL, E. R. (2000): «Cellular Mechanisms of Learning and the Biological Basis of Individuality», en E. R. Kandel, J. H. Schwartz y T. M. Jessell (eds.), *Principles of Neural Science*, 4.<sup>a</sup> ed., McGraw Hill, Nueva York.
- (1998): «A new intellectual framework for Psychiatry», *Am. J. Psychiatry* 155, 457-469.
- (1999): «Biology and the Future of Psychoanalysis: A new Intellectual Framework for Psychiatry Revisited», *Am. J. Psychiatry* 156, 505-524.
- ; SCHWARTZ, J. H. y JESSELL, T. M. (eds.) (2000): *Principles of Neural Science*, 4.<sup>a</sup> ed., McGraw Hill, Nueva York.
- KEMNITZ, J. W.; WEINDRUCH, R.; ROECKER, E. B.; CRAWFORD, K.; KAUFMAN, P. L. y ERSHLER, W. B. (1993): «Dietary restriction and aging of adult rhesus monkeys: Design, methodology and preliminary findings from the first year of the study», *J. Gerontol. Biol. Sci.* 48, 17-26.
- KEMPER, T. L. (1994): «Neuroanatomical and neuropathological changes during aging and dementia», en M. I. Albert y J. E. Noefel (eds.), *Clinical Neurology of Aging*, Nueva York, 3-67.
- KEMPERMAN, G. y GAGE, F. H. (1999): «Regeneración de las células nerviosas», *Investigación y Ciencia*.
- KIRHHOFF, B. A. y BUKNER, R. L. (2006): «Functional-anatomical correlates of individual differences in memory», *Neuron* 51, 263-274.

- KIRKWOOD, T. (2000): *El fin del envejecimiento*, Tusquets, Barcelona.
- KIRKWOOD, T. B. L. (2008): «A systematic look at an old problem», *Nature* 451, 644-647.
- KLAPPER, W.; HEIDORN, K.; KÜHNE, K.; PARWARESCH, R. y KRUPP, G. (1998): «Telomerase activity in “immortal” fish», *FEBS Letters* 434, 409-412.
- ; KÜHNE, K.; SINGH, K. K.; HEIDORN, K.; PARWARESCH, R. y KRUPP, G. (1998): «Longevity of lobsters is linked to ubiquitous telomerase expression», *FEBS Letters* 439, 143-146.
- KLEITMAN, N. (1939): «Sleep and wakefulness», University Chicago Press, Chicago.
- KOLB, B. y WHISHAW, I. Q. (1986): «Fundamentos de neuropsicología humana», Labor, Madrid-Barcelona.
- KOSTOVIC, I. (1990): «Structural and histochemical reorganization of the human prefrontal cortex during perinatal and postnatal life», en H. B. M. Huylings, C. G. Van Eden, J. P. C. De Bruin, M. A. Corner y M. G. P., *Progress in Brain Research*, Feenstra (eds.), Elsevier Science Publ.
- KOUNIOS, J.; FLECK, J. I.; GREEN, D. L.; PAYNE, L.; STEVENSON, J. L.; BOWDEN, E. L. y JUNG-BEEMAN, M. (2008): «The origins of insight in resting-state brain activity», *Neuropsychologia* 46, 281-291.
- KOZLOSKI, J.; HAMZEI-SICHANI, F. y YUSTE, R. (2001): «Stereotyped position of local synaptic targets in necortex», *Science* 293, 868-872.
- KRAMER, A. F.; HAHN, S.; COHEN, N. J.; BAICH, M. T.; MCAULEY, E.; HARRISON, C. R.; CHASON, J.; VAKIL, E.; BARDELL, L.; BPILEAU, R. A. y COLCOMBE, A. (1999): «Ageing, fitness and neurocognitive function», *Nature* 400, 418-419.
- KRINGLEN, E. y CRAMER, G. (1989): «Offspring of Monozygotic Twins Discordant for Schizophrenia», *Arch. Gen. Psychiatry* 46, 873-877.
- KUPFERMANN, I. (1991): «Localization of Higher Cognitive and Affective Functions: The Association Cortices», en E. R. Kandel, J. H. Schwartz y T. M. Jessell (eds.), *Principles of Neural Science*, 3.<sup>a</sup> ed., Appleton and Lange, 823-838.
- KUPIEC, J. J. y SONIGO, P. (2000): *Ni Dieu ni gène: pour une autre théorie de l'hérédité*, Éditions du Seuil, París.
- KURODA, K.; TATARA, K.; TAKATORIGE, T. y SHINSHO, F. (1992): «Effects of physical exercise on mortality in patients with Parkinson's disease», *Acta Neurol. Scand.* 86, 55-59.
- LAMB, D. R.; GISOLFI, C. V. y NADEL, E. (eds.) (1995): «Exercise in older adults», en *Perspectives in Exercise science and sports Medicine* (vol. 8), Cooper Publ. Group., Carmel. In.
- LAVIE, P. (1996): *The enchanted World of Sleep*, Yale University, New Haven, Drakontos.
- LE DOUX, J. E. (1999): *El cerebro emocional*, Ariel, Barcelona.
- (2000): «Emotion circuits in the brain», *Annu. Rev. Neurosci.* 23, 155-184.
- LEE, C. K.; WEINDRUCH, R. y PROLLA, T. A. (2000): «Gene-expression profile of the ageing brain in mice», *Nature Genetics* 25, 294-297.

- LIU, C. N. y CHAMBERS, W. W. (1958): «Intraspinal sprouting of dorsal roots axons», *Arch. Neurol. Psychiat.* 79, 46-71.
- LLINÁS, R. (2001): *I of the vortex*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- y CHURCHLAND, P. S. (1996): *The brain-mind continuum*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- LOEWI, O. (1921): «Über humorale Übertragbarkeit der Herznervenwirkung», *Pflügers Arch.* 189, 239-242.
- LOGOTHETIS, N. K. y SHEINBERG, D. L. (1996): «Recognition and Representation of visual objects in Primates: Psychophysics and Physiology», en *The mind-brain continuum*, R. Llinás y S. Churchland (eds.), MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- LORENZ, K. (1966): *On Aggression*, Methuen, Londres.
- MACDONALD, A. W.; COHEN, J. D.; STENGER, V. A. y CARTER, C. S. (2000): «Dissociating the role of the dorsolateral prefrontal cortex and anterior cingulate cortex in cognitive control», *Science* 288, 1835-1838.
- MACKINNON, D. W. (1965): «Personality and the realization of creative potential», *American Psychologist* 20, 273-281.
- MALBERG, J. E.; EISCH, A. J.; NESTLER, E. J. y DUMAN, R. S. (2000): «Chronic Antidepressant Treatment increases neurogenesis in adult rat hippocampus», *The Journal of Neuroscience* 20, 9104-9110.
- MALONE, M. J. y SZOKE, M. C. (1982): «Neurochemical studies in aging brain. I. Structural changes in myelin lipids», *J. Gerontol.* 73, 262-267.
- MAQUET, P. (2001): «The role of sleep in learning and memory», *Science* 294, 1048-1052.
- MATSAS, R. (1997): «Genes Controlling neural fate and Differentiation», *Adv. Exp. Med. Biol.* 429, 3-17.
- MEDVEDEV, Z. A. y MEDVEDEV, R. A. (1974): *A question of Madness*, Harmondsworth, Middlesex, Penguin Books.
- MILNER, B.; HAIST, F.; GORE, J. B. y MAO, H. (2001): «Consolidation of human memory over decades revealed by functional magnetic resonance imaging», *Nature Neuroscience* 4, 1139-1145.
- MINOIS, G. (1989): *Historia de la vejez. De la Antigüedad al Renacimiento*, Nerea, Madrid.
- MITCHINSON, G. (1983): «The function of dream sleep», *Nature* 304, 111-114.
- MITHEN, S. (1998): *Creativity in human evolution and prehistory*, Routledge, Londres, Nueva York.
- MORA, F. y COBO, M. (1990): «The Neurobiological Basis of Prefrontal Cortex Self-stimulation: A Review and an Integrative Hypothesis», en *Prefrontal cortex, its function, structure and plasticity*, en H. B. M. Huylings y C. G. VanEden (eds.), *Progress in Brain Res.* 85, 419-431.
- MORA, F. (1993): «David Hubel: los caminos visuales del cerebro», *Claves de Razón Práctica* 36, 68-71.
- MORA, F. (ed.) (1995): *El problema cerebro-mente*, Alianza Editorial, Madrid.

- (ed.) (1996): *El cerebro íntimo*, Ariel, Barcelona.
  - (ed.) (2000): *El cerebro sintiente*, Ariel, Barcelona.
  - (2000): «Genes, medio ambiente y cerebro: 23 notas y reflexiones», en J. M. Segovia y F. Mora (coords.), *Constitución genética y factores ambientales en medicina*, Farmaindustria, Madrid.
  - (2000): «The Brain and the Mind», en M. G. Gelder, J. J. López Ibor y N. Andreasen (eds.), *The New Oxford Textbook of Psychiatry*, Oxford University Press, Oxford, 153-157.
  - (2003): *El sueño de la inmortalidad*, Alianza Editorial, Madrid.
  - (2004): *¿Enferman las mariposas del alma?*, Alianza Editorial, Madrid.
  - (ed.) (2004): *Esplendores y miserias del cerebro*, FSCH, Madrid.
  - (2005): *Continuum ¿cómo funciona el cerebro?*, Alianza Editorial, Madrid.
  - (2005): «Control y regulación de la temperatura corporal», en J. A. F. Tresguerres (ed.), *Fisiología humana*, McGraw Hill, Madrid, 3.<sup>a</sup> ed., 1066-1077.
  - (2006): *Los laberintos del placer en el cerebro humano*, Alianza Editorial, Madrid.
  - (2007): *Neurocultura*, Alianza Editorial, Madrid.
  - (2008): *El reloj de la sabiduría*, Alianza Editorial, Madrid.
  - (2008): *El yo clonado*, Alianza Editorial, Madrid.
  - y SANGUINETTI, A. M. (2004): *Diccionario de Neurociencia*, Alianza Editorial, Madrid.
  - y – (2004): «Genes, medio ambiente y enfermedad», en J. M. Segovia de Arana y F. Mora (eds.), *Ochoa y la medicina clínica*, Farmaindustria Serie Científica, Madrid, 15-22.
- MORRIS, R. G. M. (1996): «Learning, memory and synaptic plasticity: cellular mechanisms, network architecture and the recording of attended experience», en *The lifespan development of individual: Behavioural, Neurobiological and Psychological perspectives*, Cambridge University Press, Cambridge, Massachusetts, 139-169.
- MORRISON, J. H. y HOF, P. R. (1997): «Life and death of Neurons in the aging brain», *Science* 278, 412-419.
- MOUNTCASTLE, V. B. (1975): «The view from within: Pathways to the study of perception», *John Hopkins Journal* 136, 109-131.
- MRZLJAK, L.; UYLINGS, H. B. M.; VAN EDEN, C. G. y JUDAS, M. (1990): «Neuronal development in human prefrontal cortex in prenatal and postnatal stages», en *Progress in Brain Research*, H. B. M Huylings, C. G. Van Eden, J. P. C. De Bruin, M. A. Corner y M. G. P. Feenstra (eds.), *Elsevier Science Publ.*
- MUKHAMETOV, L. A.; SUPIN, A. Y. y POLYAKOVA, I. G. (1997): «Interhemispheric asymmetry of the electroencephalographic sleep patterns in dolphins», *Brain Res.* 134, 581-184.
- MUKHAMETOV, L. M. (1987): «Unihemispheric slow-wave sleep in the Amazonian dolphin, *Inia geoffrensis*», *Neuroscience Letters* 79, 128-132.
- NEEPER, S. A.; GÓMEZ-PINILLA, F.; CHOI, J. y COTMAN, C. (1995): «Exercise and brain neurotrophins», *Nature* 373, 109.

- NEMOTO, S. y FINKEL, T. (2004): «Ageing and the mystery at Arles», *Nature* 429, 149-152.
- NIETO-SAMPEDRO, M. (1996): «Plasticidad neural: Una propiedad básica que subyace desde el aprendizaje a la reparación de lesiones», en F. Mora (ed.), *El cerebro íntimo*, Ariel, Barcelona, 66-96.
- NILSSON, M.; PERFILIEVA, E.; JOHANSSON, U.; ORWAR, O. y ERKSSON, P. S. (1999): «Enriched Environment increases neurogenesis in the adult rat dentate gyrus and Improves spatial memory», *J. Neurobiol.* 39, 569-578.
- OJEMAN, G. A. (1990): «Organization of language cortex derived from investigations during neurosurgery», en A. R. Damasio (ed.), *Seminars in the neurosciences* 2, 297-305.
- OLDS, J. y MILNER, P. (1954): «Positive reinforcement produced by electrical stimulation of septal area and other regions of the rat brain», *J. Comp. Physiol Psychol.* 47, 419-427.
- OLSHANSKY, S. J.; CARNES, B. A. y DESESQUELLES, A. (2001): «Prospects for Human Longevity», *Science* 91, 1491-1495.
- OEPPEL, J. y VAUPEL, J. W. (2002): «Broken limits to Life Expectancy», *Science* 296, 1029-1031.
- PATNAIK, B. K.; MAHAPATRO, N. y JENA, B. S. (1994): «Ageing in Fishes», *Gerontology* 40, 113-132.
- PAUS, T. (2001): «Primate anterior cingulate cortex: where motor control drive and cognition interface», *Nature Neurosci. Rev.* 2, 417-424.
- PENFIELD, W. y RASMUSSEN, T. (1957): *The cerebral cortex of man. A clinical study of localization of function*, McMillan, Nueva York.
- PENFIELD, W. (1967): *The excitable cortex in conscious man*, Liverpool University Press, Liverpool.
- (1971): *The mystery of the mind*, Princeton University Press, Nueva Jersey.
- PETERS, A. (1996): «Age-related changes in oligodendrocytes in monkey cerebral cortex», *J. Comp. Neurol.* 371, 153-163.
- PLUM, F. (1998): «The conscious brain: normal and abnormal», *Philosophical Transactions: Biological Sciences* 353, 1799-1942.
- POINCARÉ, H. (2001): *The value of Science. Essential writings of Henri Poincaré*, Random House, Nueva York.
- POPPER, K. R. y ECCLES, J. C. (1980): *El Yo y su Cerebro*, Labor Universitaria, Barcelona.
- POSNER, M. I. y RAICHLE, M. E. (1994): *Images of Mind*, Scientific American Library, HPHLP, Nueva York.
- PRAAG, H. VAN; KEMPERMANN, G. y GAGE, F. H. (1999): «Running increases cell proliferation and neurogenesis in the adult mouse dentate gyrus», *Nature Neuroscience* 2, 266-270.
- PRAAG, VAN H.; CHRISTIE, B. R.; SEJNOWSKI, T. J. y GAGE, F. H. (1999): «Running enhances neurogenesis, learning, and long-term potentiation in mice», *PINAS* 96,

- 13427-13431.
- PROLLA, T. A. y MATTSON, M. P. (2001): «Molecular mechanisms of brain aging and neurodegenerative disorders: lessons from dietary restriction», *TINS* 24, 11 (supl.), 21-31.
- RAMACHANDRAN, V. S. y BLAKELSLEE, S. (1999): *Fantomas en el cerebro*, Debate, Madrid.
- RAMÓN Y CAJAL, S. (1966): *Charlas de café*, 9.<sup>a</sup> ed., col. Austral, Espasa Calpe, Madrid.
- (1907): *Structure et connexions des neurones Conférence de Nobel Faite le Décembre 1906*, Imprimerie Royale, Stockholm.
- (1981): *Recuerdos de mi vida. Historia de mi labor científica*, Alianza Universidad, Madrid.
- (1992): *Textura del Sistema Nervioso del Hombre y los Vertebrados*, Imprenta y Librería de Nicolás Moya, Madrid, 1904, edición del Instituto de Neurociencias de Alicante.
- RAMÓN Y CAJAL, S. (1981): *Recuerdos de mi vida: Historia de mi labor científica*, Alianza Editorial, Madrid.
- RAPP, P. R. y GALLAGHER, M. (1996): «Preserverd neuron number in the hippocampus of aged rats with spatial learning déficits», *Proc. Natl. Acad. Sci.* 93, 9926-9930.
- RASMUSSEN, R.; SCHIEMANN, R.; SORENSE, J. C.; ZIMMER, J. y WEST, M. J. (1996): «Memory impaired aged rats: no loss of principal hippocampal and subiculum neurons», *Neurobiol. Aging* 17, 143-147.
- RICHARDS, T. (1988): «Research into aging: exploding myths», *Brit. Med. J.* 296, 659-660.
- RICKLEFTS, R. E. y FINCH, C. E. (1995): *Aging. A natural history*, Scientific American Library.
- RILKE, R. M. y JAMISON, R. K. (2000): «Creatividad y psicosis maniacodepresiva», en *Trastornos mentales, investigación y ciencia*, Prensa Científica, Barcelona.
- ROLLS, E. T. (2007): *Emotion explained*, Oxford University Press, Oxford.
- ROLLS, E. T. (1999): *The Brain and Emotion*, Oxford University Press, Oxford.
- ROSE, S. (ed.) (1998): *From Brains to Consciousness? Essays on the New Science of Mind*, Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey.
- (1997): *Lifelines*, Oxford University Press, Oxford.
- ROSE, S. P. R. (1993): «Synaptic Plasticity, Learning and Memory», en *Synaptic Plasticity Molecular, Cellular and Functional aspects*, M. Baudry, R. F. Thompson y J. L. Davis (eds.), MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- (1992): *The making of memory*, Bantam.
- ROTH, G. S.; INGRAM, D. K. y LANE, M. A. (1999): «Calorie Restriction in Primates: Will it work and how will we know?», *J. Am. Geriatr. Soc.* 47, 896-903.
- ROWE, J. W. y KAHN, R. L. (1987): «Human Aging: Usual and Successful», *Science* 237, 143-149.
- RUSSELL, R. J.; MURPHY, N.; MEYERING, T. C. y ARBIB, M. A. (eds.) (1999): «Neuroscience and the person. Scientific perspectives on divine action», *Vatican*

- Observatory Publ.*, Ciudad del Vaticano.
- RUSTICHINI, A. (2005): «Emotion and Reason in Making Decision», *Science* 310, 1624-1625.
- SANMARTÍN, J. (2000): *La violencia y sus claves*, Ariel, Barcelona.
- SATINOF, E. (1978): «Neural organization and evolution of thermal regulation in mammals», *Science* 21, 16-22.
- SCIENTIFIC AMERICAN (ed.) (1999): *The Scientific American Book of the Brain*, Nueva York.
- SCOTT, S. K.; YOUNG, A. W.; CALDER, A. J. y HELLAWELL, D. J. (1997): «Impaired auditory recognitions of fear and anger following bilateral amygdala lesion», *Nature* 385, 254-257.
- SEARLE, J. R. (2000): «Consciousness», *Annu. Rev. Neurosc.* 23, 557-578.
- SHERRINGTON, Ch. (1975): *Man on his nature*, Cambridge University Press, Cambridge, Massachusetts.
- SHERRINGTON, Ch. (1968): «Emisión radiofónica publicada en The Physical Basis of Mind. A series of broadcast talks», P. Lasslett (ed.), Blackwell, Oxford.
- SHORS, T. J.; MIESEGAESES, G.; BEYLIN, A.; ZHAO, M.; RYDEL, T. y GOULD, E. (2001): «Neurogenesis in the adult is involved in the formation of trace memories», *Nature* 410, 372-376.
- SIEGEL, J. M. (1995): «Phylogeny and the function of REM sleep», *Behavioural Brain Res.* 69, 29-34.
- (2001): «The REM Sleep-Memory Consolidation Hypothesis», *Science* 294, 1058-1063.
- SIMONTON, D. K. (1999): *Origins of genius: Darwinian perspectives on creativity*, Oxford University Press, Oxford.
- SINGER, W. (1996): «Neuronal Synchronization: A solution to the Binding problem?», en R. Llinás y P. S. Churchland (eds.), *The brain-mind continuum*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 101-130.
- (1998): «Consciousness and the structure of neuronal representations», en *The Conscious Brain: Normal and Abnormal*, F. Plum (ed.), *Philosophical transactions, Biological Science* 353, 1829-1840.
- SKONFOS, E.; HINES, M. S.; NADKARNI, P. M. y MILLER, P. L. (1998): «The Human Brain Project: Neuroinformatics tools for integrating searching and modelling multidisciplinary neuroscience data», *TINS* 21, 460-467.
- SOHAL, R. S. y WEINDRUCH, R. (1996): «Oxidative Stress, Caloric restriction and Aging», *Science* 273, 59-63.
- SPERRY, R. W. (1983): *Science and moral priority. Merging mind, brain and human values*, Columbia University Press, Nueva York.
- (1968): «Mental Unity following surgical disconnection of the cerebral hemispheres», *The Harvey Lectures Series* 62, Academic Press, Nueva York, 293-323.
- SPITZ, R. A. (1945): «Hospitalism: A follow-up report of investigation described in Vol I, 1945», *Psychoanal. Study Child* 2, 113-117.

- (1945): «Hospitalism: An inquiry into the genesis of psychiatric conditions in early childhood», *Psychoanal. Study Child* 1, 53-74.
- SPITZER, N. C. (1999): «New dimensions of neuronal plasticity», *Nature Neuroscience* 2, 489-491.
- SQUIRE, L. R. (1998): «Memory and brain systems», en *From brains to consciousness?*, S. Rose (ed.), Princeton University Press, Princeton.
- STEVENSON, L. (2000): *The Study of Human Nature*, Oxford University Press, Oxford.
- STICKGOLD, R.; HOBSON, J. A.; FOSSE, R. y FOSSE, M. (2001): «Sleep, Learning, and dreams: Off-line memory reprocessing», *Science* 294, 1052-1057.
- STRINGARIS, A.; MEDFORD, N.; GIORA, R.; GIAMPIETRO, V. C.; BRAMMER, M. J. y DAVID, A. S. (2006): «How metaphors influence semantic relatedness judgements: The role of the right-frontal cortex», *NeuroImage* 33, 784-793.
- SUDDATH, R. L.; CHRISTON, G. W.; FULLER TORREY, E.; CASANOVA, M. F. y WEINBERG, D. R. (1990): «Anatomical abnormalities in the brains of monozygotic twins discordant for schizophrenia», *N. Engl. J. Med.* 322, 789-794.
- SUDDENDORF, T. (2006): «Foresight and evolution of the human mind», *Science* 312, 1006-1007.
- SZABADI, E. (1988): «Physical exercise and mental health», *Brit. Med. Bull.* 296, 659-660.
- TANZI (1893): «I fatti e le induzioni nello dierna istologia del sistema nervoso», *Riv. Sperim. Di fre. E di med. leg.*, tomo XIX.
- TATCHER, R. W.; NORTHA, D. y RIVERA, C. (2005): «EEG and intelligence: Relations between EEG coherence phase delay and power», *Clinical Neurophysiology* 116, 2129-2141.
- TENG, E. y SQUIRE, L. S. (1999): «Memory for places learned long ago is intact after hippocampal damage», *Nature* 400, 675-677.
- TERRY, R. D. y KATZMAN, R. (2001): «Life span and synapses: will there be a primary senile dementia?», *Neurobiology of Aging* 22, 347-348.
- THORPE, S. J. y M. FABRE-THORPE (2001): «Seeking Categories in the Brain», *Science* 291, 260-263.
- TOBÍAS, P. V. (1997): «Evolution of Brain Size, Morphological Restructuring and Longevity in Early Hominids», en *Principles of Neural Aging*, S. U. Dani, A. Hori. y G. F. Walter (eds.), Elsevier, Ámsterdam, 153-174.
- (1995): «The Brain of the first hominids», en *Origins of the Human Brain*, J. P. Changeux y J. Chavaillon (eds.), Clarendon Press, Oxford.
- TOBLER, I. (1995): «Is sleep fundamentally different between mammalian species?», *Behavioural Brain Res.* 69, 35-41.
- TONONI, G. y EDELMAN, G. M. (1998): «Consciousness and Complexity», *Science* 282, 1846-1851.
- TRANEL, D.; DAMASIO, A. R.; DAMASIO, H. y BRANDT, J. P. (1994): «Sensorimotor Skill Learning in Amnesia: Additional Evidence for the Neural Basis of Non declarative Memory», *Learn. Mem.* 1, 165-179.

- y – (1985): «Knowledge without awareness: an autonomic index of facial recognition by prosopagnosics», *Science* 228, 1453-1454.
- TUIJAPURKAR, S.; LI, NAN y BOE, C. (2000): «A universal pattern of mortality decline in the G7 countries», *Nature* 405, 789-792.
- VALENSTEIN, E. (1973): *Brain Control*, John Wiley and Sons, Nueva York.
- VARELA, F.; LACHAUX, J.; RODRÍGUEZ, E. y MARTINERIE, J. (2001): «The Brainweb: Phase synchronization and large-scale integration», *Nature Reviews* 2, 229-239.
- VINVENT, R. D.; GOLDBERG, Y. K. y TITONE, D. A. (2006): «Anagram software for cognitive research that enables specification of psycholinguistic variables», *Behavior Research Methods* 38, 196-201.
- VON SENDEN, M. (1932): *Raum und gestaltauffassung bei operierten Blindgeroren vor und nach der Operation*, Barth, Leipzig.
- WEST, M. J. (1993): «Regionally specific loss of neurons in the aging human hippocampus», *Neurobiol. Aging* 14, 287-293.
- WALFORD, R. L.; HARRIS, S. B. y GUNION, M. W. (1992): «The calorically restricted low-fat nutrient dense diet in Biosphere 2 significantly lowers blood glucose, total leucocyte count, cholesterol and blood pressure in humans», *Proc. Natl. Acad. Sci* 98, 11533-11537.
- WEINDRUCH, R. y WALFORD, R. L. (1998): *The retardation of Aging And Disease by Dietary Restriction*, Thomas, Springfield, Illinois.
- WERNICKE, C. (1874): *Der aphasische symptomencomplex: Eine psychologische studie auf anatomischer basis*, Colin and Weigert, Breslan.
- WEST, M. J. (1993): «Regionally specific loss of neurons in the aging human hippocampus», *Neurobiol. Aging* 14, 287-293.
- WHITEN, A.; GOODALL, J.; McGREW, W. C.; NISHIDAS, T.; REYNOLDS, V.; SUGIYAMA, Y.; TUTIN, C. E. G.; WRANGHAN, R. W. y BOESCH, C. (1999): «Cultures in Chimpanzees», *Nature* 399, 682-685.
- WICKELGREN, I. (1996): «For the cortex, neuron loss may be less than thought», *Science* 273, 48-50.
- WILSON, E. O. (1978): *On Human Nature*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- WISE, R. (1996): «Nacimiento de una biología del lenguaje», *Mundo científico* 172, 844-853.
- YOUNG, J. Z. (1978): *Programms of the Brain*, Oxford University Press, Oxford.
- ZEKI, S. y BARTELS, A. (1998): «The autonomy of the visual systems and the modularity of conscious vision», *Phil. Trans. R. Soc. Londres Ser. B* 353, 1911-1914.
- ZEKI, S. (2000): «Esplendores y miserias del cerebro», en *Nuevos desafíos del conocimiento*, F. Mora y J. M. Segovia de Arana (eds.), Fundación BSCH-Ediciones Nobel, Oviedo.
- (1995): *Una visión del cerebro*, Ariel, Barcelona.
- (2001): «Artistic Creativity and the Brain», *Science* 293, 51-52.

Edición en formato digital: 2014

© Francisco Mora Teruel, 2002, 2009, 2014  
© Alianza Editorial, S. A., Madrid, 2014  
Calle Juan Ignacio Luca de Tena, 15  
28027 Madrid  
[alianzaeditorial@anaya.es](mailto:alianzaeditorial@anaya.es)

ISBN ebook: 978-84-206-8948-7

Está prohibida la reproducción total o parcial de este libro electrónico, su transmisión, su descarga, su descompilación, su tratamiento informático, su almacenamiento o introducción en cualquier sistema de repositorio y recuperación, en cualquier forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, conocido o por inventar, sin el permiso expreso escrito de los titulares del Copyright.

Conversión a formato digital: calmográfica

[www.alianzaeditorial.es](http://www.alianzaeditorial.es)

# Índice

Prólogo a esta nueva edición	8
Nota a la presente edición	10
Prólogo a la segunda edición (2009)	11
Prólogo	12
1. A modo de introducción. ¿Cómo funciona el cerebro?	16
Un bosque gris	17
De las autopistas a los caminos vecinales	21
La neurona creadora	22
El mundo que nos rodea	22
Las monedas universales del cerebro	24
¿Por qué yo no entiendo el chino?	25
Rocas, ardillas y fantasmas	26
De árboles, perros y gatos	27
De lo que se ve a lo que se siente	28
Predicción y anticipación	28
¿Es el cerebro un ordenador muy sofisticado?	29
Seis argumentos a favor de que el cerebro no es un computador	31
¿Acaso mi cerebro funciona sin el resto de mi cuerpo?	32
2. ¿Está el cerebro orquestado musicalmente?	35
El péndulo biológico	36
Un reloj en la cabeza	37
El cerebro es una caja con múltiples relojes	38
En las profundidades de una cueva en Kentucky	38
El dios alado del sueño	39
¿Pero... qué es propiamente el sueño?	40
El sueño del escorpión	41
Los cocodrilos duermen pero no sueñan	42
El regalo de Morfeo	42
¿Qué nos dicen los ensueños?	43
¿Cantan los pájaros mientras duermen?	46
El hombre sin sueño REM	47
Del arte a la ciencia o los ensueños creadores de Tartini, Loewi y Kekule	48

¿Por qué están siempre despiertos los delfines?	50
¿Sirve el sueño para enfriar el cerebro?	51
Los ciclos de la temperatura del cuerpo	52
Un niño entre los maizales de Iowa	52
Del estado cataléptico de la serpiente a la hibernación de la ardilla	53
De la hibernación de la ardilla al letargo invernal del oso	54
El cerebro hibernante	55
Los largos viajes espaciales: ¿catalepsia, letargo o hibernación?	56
<b>3. El mundo que vemos ¿existe realmente fuera del cerebro?</b>	<b>58</b>
Ventanas al mundo	58
El libro de los códigos sensoriales	59
Los átomos de la percepción	60
Un perro negro sobre la nieve	60
El cerebro pinta el mundo de color	62
Naranjas grises y pájaros que no vuelan	63
De cómo el cerebro construye el mundo que ve	65
De cómo una naranja se transforma en todas las naranjas del mundo	67
Neuronas, circuitos y abstracción	68
De cómo la información visual viaja por el cerebro	70
El tacto visual de Euclides	71
De lo bueno y de lo malo	72
<b>4. El color emocional de las percepciones</b>	<b>73</b>
Placer y castigo	74
Retomemos la historia de la naranja	75
La rata que descubrió el placer puro	77
Cerebro y placer	77
Placer artificial	79
¿Es diferente el placer de una buena comida de aquel que se obtiene en el acto sexual?	79
El limbo de las emociones	80
Haciendo resumen	83
<b>5. ¿Puede un ser humano crecido entre chimpancés tener una conducta humana?</b>	<b>86</b>
De la azada al violín	87
La gramática universal	88

¿Tuvo el lenguaje su origen hace dos millones de años?	89
Memes y replicadores	90
Broca, Wernicke y Geschwind	90
Los pacientes de Wilder Penfield	93
De los modelos a la dura realidad del cerebro vivo	93
Los caminos cerebrales del lenguaje	94
¿Se nace sabiendo jugar al golf o pelar una patata?	96
El hombrecito motor	100
Yo te lo pido y tú me lo prestas	101
Rectificando el movimiento	102
<b>6. Todo lo que significa aprender y memorizar cambia nuestro cerebro</b>	<b>104</b>
El racimo de las memorias	106
Perdemos unas memorias y guardamos otras	108
Henry M.	108
El caballito de la memoria	110
De cómo la memoria se hace permanente	111
Pero ¿dónde se hacen permanentes las memorias?	112
Los caminos secretos de la memoria	113
¿Por qué no recordamos nada de nuestros dos primeros años de vida?	113
La plasticidad del cerebro: James, Tanzi y Cajal	114
Los postulados de Hebb	115
De caracoles, ratas y pollos	117
<b>7. ¿Son la mente y la conciencia una propiedad más de circuitos específicos del cerebro?</b>	<b>120</b>
Las escaleras del cerebro, la mente y la conciencia	121
Hablemos todos de todo	125
¿Qué es la conciencia?	127
¿Existen las microconciencias?	128
La conciencia como globalidad funcional del cerebro	129
El centro dinámico de la conciencia	130
Las once propiedades de Edelman y Tononi sobre la conciencia	132
El gran misterio o la construcción del yo en el cerebro	134
<b>8. Alumbrando creatividad</b>	<b>136</b>
¿Qué es creatividad?	136

Impulsos, emociones y genios	138
Luces y sombras	139
Chimpancés y curiosidades	140
Abstraer y crear	141
Neuronas creativas	141
Abstractos, concretos y frustraciones	143
Del análisis a la intuición	144
El eureka de Arquímedes	145
Las cinco claves del eureka	146
Neuronas e ideas luminosas	146
Y más allá, innovando	149
<b>9. ¿Enferman las mariposas del alma? o cómo funciona un cerebro que mal funciona</b>	<b>151</b>
De la palabra a la molécula	153
Los cinco principios de Kandel	155
Algunas piezas cerebrales del «rompecabezas» mental	155
Profundizando en el cerebro	159
Desapariciones e invasores	160
Añadamos los genes a la mente	161
Scribonius Largus o un pez eléctrico en la cabeza	162
¿Queda espacio en el cerebro para el psicoanálisis?	163
Enfermedad mental y cerebro creativo	165
Genio y locura. De Van Gogh a Nietzsche	166
Enfermedad mental y diversidad humana	168
<b>10. ¿Cómo funciona el cerebro envejecido?</b>	<b>170</b>
Los cuatro criterios de Hayflick	170
¿Por qué no envejece la trucha arco iris?	171
El envejecimiento ¿se debe a los genes?	174
A cerebro más grande, mayor longevidad	174
La vejez de nuestros predecesores hace 2-3 millones de años	176
Algo más sobre nuestro propio envejecimiento	177
Nuevas perspectivas	179
¿Envejece todo el cerebro al mismo tiempo?	179
Arrumbando dogmas	180
El cerebro viejo produce neuronas nuevas	181

Buscando soluciones	182
¿Todos dementes a los 130 años?	185
Vejez e inmortalidad	187
<b>11. ¿Qué nos dice, acerca de nosotros mismos, conocer algo de cómo funciona el cerebro?</b>	<b>189</b>
De genes y medio ambiente	190
De cómo el cerebro cambia en su relación con los demás y el mundo	191
De cómo elegimos entre personas y cosas	194
Sobre la emoción y la competitividad	195
De la grandeza y la miseria del cerebro	197
Las conjeturas del cerebro	197
El cerebro luchando por entender el cerebro	199
<b>Glosario</b>	<b>201</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>215</b>
<b>Créditos</b>	<b>230</b>